



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ  
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE  
FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING  
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

## KOVÁNÍ ZÁVĚSNÉHO ŠROUBU

FORGING OF A HINGE EYEBOLT

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE  
BACHELOR THESIS

AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

Vladimír PUKLICKÝ

VEDOUCÍ PRÁCE  
SUPERVISOR

doc. Ing. Zdeněk LIDMILA, CSc

BRNO

2014

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie

Akademický rok: 2013/2014

## **ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**

student(ka): Vladimír Puklický

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Strojírenská technologie (2303R002)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

### **Kování závěsného šroubu**

v anglickém jazyce:

### **Forging of a hinge eyebolt**

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Závěsný šroub je tvořen „hlavou“ s oky na kterou navazuje odstupňovaný válcový dřík, celková délka součásti je 740 mm. Jedná se tedy o velmi rozměrnou podlouhlou součást, se značně rozdílnými průřezy v podélné ose. Cílem práce je navrhnout technologický postup výroby této součásti.

Cíle bakalářské práce:

Práce bude obsahovat návrh a rozbor možných způsobů výroby se zhodnocením jejich vhodnosti a nevhodnosti. Na základě analýzy možných výrobních postupů bude vybrána optimální technologie výroby, pro kterou bude zpracována literární studie. Dále bude zpracován technologický postup výroby doložený nezbytnými technologickými výpočty. Součástí řešení pak bude i výkresová dokumentace nástrojů, zhodnocení navrženého řešení a závěry

Seznam odborné literatury:

1. ASM-Metals Handbook: Forming and Forging. Vol.14. USA ASM International, 2004. S.978. ISBN 0-87170-020-4
2. NOVOTNÝ, Karel. Tvářecí nástroje. 1. vyd. Brno: Nakladatelství VUT v Brně, 1992. 186 s. ISBN 80-214-04016.
3. FOREJT, Milan, Miroslav PÍŠKA. Teorie obrábění, tváření a nástroje. 1. vyd. Brno: CERM, 2006. 225s. ISBN 80-214-2374-9
4. LIDMILA, Zdeněk. Teorie a technologie tváření II. 1.vyd. UO Brno. 2008. 106 s. ISBN 978-80-7231-580-2
5. FREMUNT, P., J. KREJČÍK a T. PODRÁBSKÝ. Nástrojové oceli (odborná kniha). 1. vyd. Brno: Dům techniky. 1994. 230 s.

Vedoucí bakalářské práce: doc. Ing. Zdeněk Lidmila, CSc.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2013/2014.

V Brně, dne 11.11.2013

L.S.

---

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.  
Ředitel ústavu

---

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.  
Děkan fakulty

## **ABSTRAKT**

PUKLICKÝ Vladimír: Kování závěsného šroubu

---

Bakalářská práce vypracovaná v rámci bakalářského studia řeší postup výroby závěsného šroubu kombinací dvou technologií objemového tváření za tepla. Volného kování pro vykování předkovku a zápustkového kování pro zhotovení konečného tvaru součásti. Závěsný šroub se bude vyrábět v sérii 5 000 ks/rok z konstrukční oceli ČSN 11 375.1 s obsahem uhlíku 0,2% C. Materiál je dodáván ve formě kruhové tyče o průměru 135 mm a délce 6 000 mm. Z ní se budou stříhat menší kusy dlouhé 172 mm pomocí průmyslových nůžek ScKU 800. Na základě literární studie kování a provedených výpočtů byl pro volné kování zvolen buchar KHZ 4 A od firmy Šmeral Brno a.s. a pro kování v zápustce buchar s označením L 9 2040 mkg od francouzské společnosti Bêché. Polotovar bude ohříván v plynové komorové peci RKG 08.9.03-12 s výkonem 600 kW. Výkovek bude ostřížen na ostřihovacím lisu LKOA 200. Zápustky jsou vyrobeny z nástrojové oceli ČSN 19 663,

### **Klíčová slova**

objemové tváření, zápustkové kování, volné kování, závěsný šroub, buchar

## **ABSTRACT**

PUKLICKÝ Vladimír: Forging of a hinge eyebolt

---

Bachelor thesis developed in the bachelor degree addresses the production process eyebolt combination of the two technologies volume thermofotming. Forging the forging and die forging slug for making the final shape of the part. Eyebolt will be produced in a series of 5,000 units / year of structural steel ČSN 11 375.1 with a carbon content of 0.2 % C. The material is supplied in the form of round bars with a diameter of 135 mm and a length of 6000 mm . From this it will be cut smaller pieces using a 172 mm long industrial scissors ScKU 800 Based on the literature study and fitting the calculations was chosen for forging hammer KHZ 4 A from Šmeral Brno as and drop forging hammer with the designation L 9 mg in 2040 by a French company Bêché . Semi-finished product is heated in a gas chamber furnace RKG 08.9.03-12 with an output of 600 kW. Forging the trimming on the trim press LKOA 200th Dies are made of tool steel DIN 19 663.

### **Keywords**

volume molding, die forging, forging, eye bolt, hammer

## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

PUKLICKÝ, Vladimír. Kování závěsného šroubu. Brno 2014. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. 43 s. 5 příloh. Ing. Zdenek Lidmila, CSc.

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma **Kování závěsného šroubu** vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

.....  
Datum

.....  
Vladimír Puklický

## **PODĚKOVÁNÍ**

Děkuji tímto panu doc. Ing. Zdeňku LIDMILOVI, CSc za cenné připomínky a rady při vypracování bakalářské práce.

# **OBSAH**

ABSTRAKT

PROHLÁŠENÍ

PODĚKOVÁNÍ

OBSAH

ÚVOD

1	ROZBOR VÝROBY DANÉ SOUČÁSTI .....	10
1.1	Stávající stav .....	10
1.2	Možné způsoby výroby závěsného šroub .....	11
1.3	Volba způsobu výroby .....	12
2	OBJEMOVÉ TVÁŘENÍ ZA TEPLA .....	12
2.1	Volné kování .....	13
2.2	Zápustkové kování .....	15
3	CHARAKTERISTIKA VÝKOVKU .....	18
3.1	Přídavky a mezní úchytky rozměrů a tvarů .....	19
3.2	Dělení výchozího polotovaru .....	21
3.3	Ohřev materiálu .....	23
3.4	Volba tvářecího stroje .....	24
4	ZÁPUSTKY PRO BUCHARY .....	25
4.1	Výronková drážka .....	26
4.2	Upínání zápustek na buchar .....	28
4.3	Ostřížení a děrování výkovku .....	30
4.4	Tepelné zpracování výkovků .....	30
5	TECHNOLOGIE VÝROBY ZÁVĚSNÉHO ŠROUBU .....	31
5.1	Vypracování výkresu výkovku .....	31
5.2	Příprava polotovaru .....	35
5.3	Určení velikosti bucharu .....	37
5.4	Materiál a předeřev zápustek .....	38
6	Technicko - ekonomické zhodnocení .....	40
7	ZÁVĚR .....	43

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ A LITERATURY

SEZNAM POUŽITÝCH ZNAČEK A SYMBOLŮ

SEZNAM PŘÍLOH



## ÚVOD [20] [24]

Objev výroby a následujícího využití železa byl jedním ze základních úspěchů současné civilizace. Železo má mnohostranné využití ve výrobě většiny základních technických prostředků používaných člověkem, zhotovovaných ze slitin železa nazývaných oceli a litiny. Ale předtím, než byli lidé schopni zhotovení nástrojů z oceli a litiny, museli si nejprve osvojit technologii zpracování železa a jeho slitin.

Obecně mezi nejstarší technologie zpracování kovů patří kování. V historii byla vyspělost starověkých civilizací často právě spojována se schopností provádět tuto činnost. Avšak její největší rozvoj přišel až začátkem dvacátého století, díky první světové válce. Ať se nám to totiž líbí nebo ne, válka byla vždy velkým akcelerátorem technického vývoje.

Kování patří mezi nejproduktivnější technologie výroby. Je to technologický proces, při kterém dochází ke změně tvaru a vlastností polotovaru, působením vnějších sil. Podstatou celého procesu je vznik plastických deformací, ke kterému dojde při překročení meze kluzu tvářeného materiálu. V dnešní době jsou používány dva hlavní způsoby kování. Volné, pro výkovky jednoduchých tvarů a zápustkové pro členité výkovky. Součásti vyrobené kovářským procesem mají díky dobrému prokování velmi dobré mechanické vlastnosti a často najdou uplatnění hlavně v automobilovém průmyslu.



Obr. 1 Kování a výkovky [42] [30] [40] [15]

# 1 ROZBOR VÝROBY DANÉ SOUČÁSTI

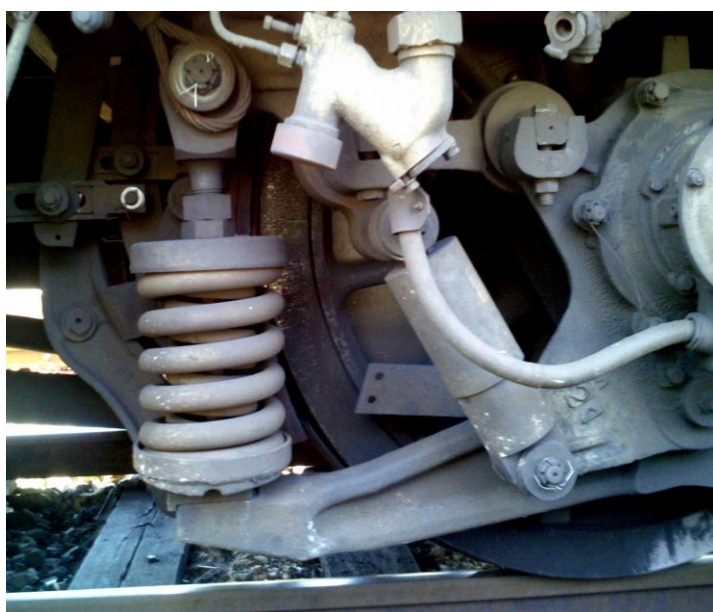
## 1.1 Stávající stav [20] [32]

Cílem této bakalářské práce je na základě literární studie, výpočtů a příslušných ČSN norem stanovit technologický postup výroby závěsného šroubu. Tato součást se už vyráběla před pár desítkami let, ale nyní už není známo jak.

Díky internetové diskuzi na českém dopravním serveru jsem se dopátral toho, že šroub slouží k zavěšení pružnice na podvozku železničních lokomotiv řady 242 (obr.2). Pak už jen zbývalo se kolem sebe pořádně dívat, vše vyfotografovat a udělat model sestavy (obr.4).



Obr. 2 Lokomotiva 242 273-1 v Brně na hlavním nádraží



Obr. 3 Zavěšení pružnice podvozku pomocí závěsného šroubu



Obr. 4 Vymodelovaná sestava v programu Autodesk Inventor

## 1.2 Možné způsoby výroby závěsného šroubu [2] [11] [25] [26] [36]

Pro výrobu závěsného šroubu se nabízí tři základní konveční metody technologie:

- odlévání
- obrábění
- objemové tváření za tepla

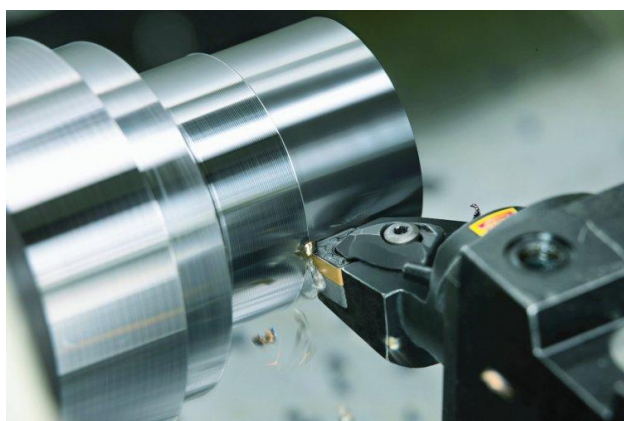
- **Odlévání**

Odlévání (obr.5) nachází uplatnění především v hromadné výrobě, kde se vzhledem k vysokému vyráběnému počtu součástí vyplatí zkonstruovat a vyrobit formu, která je negativem požadovaného výrobku. Je vhodné především pro výrobky složitých tvarů, které se nedají vyrobit jiným způsobem. Tato metoda disponuje dobrou hospodárností s výchozím materiálem a dobrou produktivitou výroby. Odléváním nejsme schopni dosáhnout tak dobrých mechanických vlastností jako objemovým tvářením. Výsledným produktem je odlitek, který je buď konečný nebo polotovarem na další zpracování.



Obr. 5 Odlévání [11]

- **Obrábění**



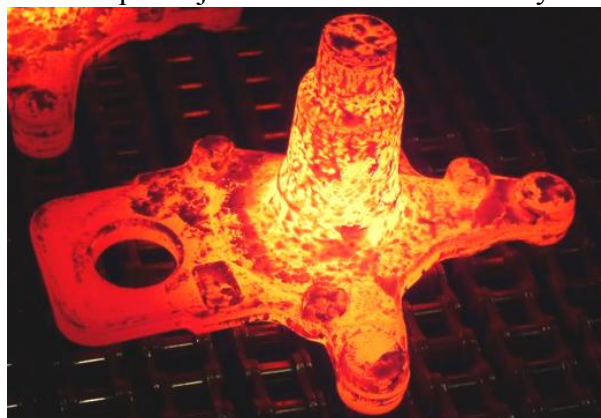
Obr. 6 Obrábění [36]

Obrábění (obr.6) nachází využití především v kusové a malosériové výrobě, kdy se nevyplatí investovat do drahých forem u odlévání nebo do přípravků jako třeba zápustka u objemového tváření. Třískové obrábění nevyžaduje speciální nástroje. Nevýhodou obrábění je velké procento odpadu a to až 70% a také častá výměna nástrojů z důvodu otupení. Touto technologií vznikají výrobky s velkou přesností a dobrou jakostí povrchu.



- **Objemové tváření**

Objemové tváření (obr.7) se převážně uplatňuje v sériové a hromadné výrobě tvarově stejných součástí. Je to nedestruktivní technologický proces, při kterém dochází ke změně tvaru polotovaru bez porušení. Díky tomu, že nedochází k přerušení vláken mají hotové výrobky dobré mechanické vlastnosti. Nevýhodou je velká energetická náročnost na předehřev polotovarů.



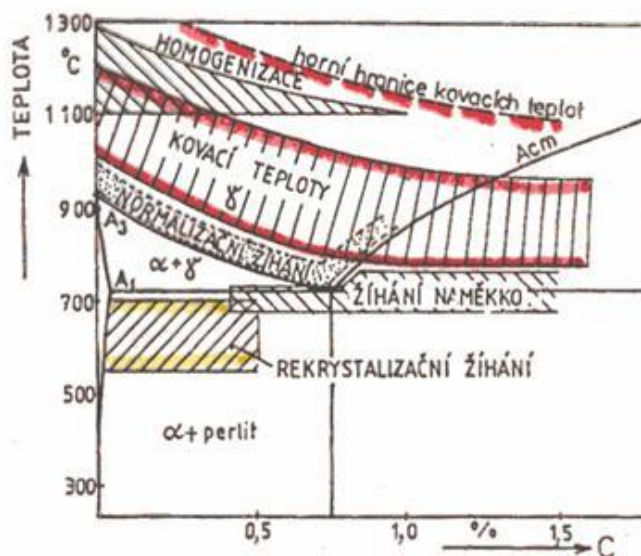
Obr. 7 Objemové tváření [25]

### 1.3 Volba způsobu výroby

Na základě složitosti tvaru závěsného šroubu, vzhledem k požadovaným mechanickým vlastnostem a k plánované roční výrobní sérii 5000 kusů, byla pro výrobu zvolena metoda objemového tváření za tepla. A to kombinace dvou metod, volné kování pro zhotovení předkovku a zápusťkového kování pro vykování konečného tvaru a rozměrů výkovku.

## 2 OBJEMOVÉ TVÁŘENÍ ZA TEPLA [24] [34] [38]

Objemové tváření je technologický proces, při kterém dochází ke změně tvaru v celém jeho objemu, značným tokem tvářeného materiálu bez jeho porušení. Je tedy nutné překročit mez pružnosti tvářeného materiálu, ale zároveň nesmí být překročena jeho mez pevnosti. Pro tváření jsou vhodné materiály, které tyto dvě meze mají od sebe dostatečně daleko. Pod pojmem za tepla, rozumíme tváření, které probíhá nad rekrystalizační teplotou, respektive asi 50 °C nad teplotou  $A_3$  nebo  $A_1$ , jak je vidět na obrázku (obr.8). Ohřátím materiálu nad tyto teploty docílíme ke snížení vnitřního pnutí a vyrovnaní deformací krystalové mřížky. Při objemovém tváření za tepla probíhá u tvářeného materiálu rekrystalizace, která způsobuje částečné, nebo dokonce úplné vymizení deformačního zpevnění.

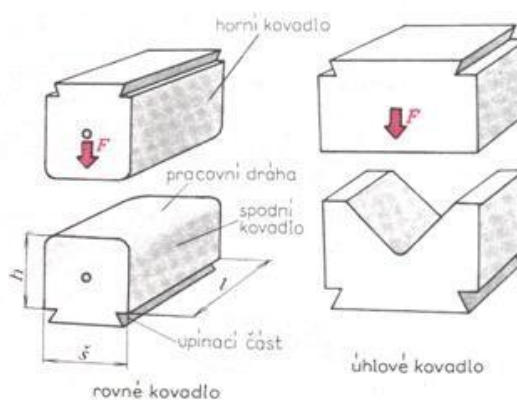


Obr. 8 Kovací teploty pro uhlíkové oceli [34]

Do hlavních nevýhod tváření za tepla můžeme zařadit horší kvalitu povrchu, hrubnutí zrna a energetickou náročnost způsobenou nutností ohřevu polotovaru. Horší kvalita povrchu je zapříčiněna opadáváním okují při samotném kování při vysokých teplotách. Dalším, již zmíněným problémem je hrubnutí zrna, které zapříčiňuje vyšší tvářecí teploty. Pro odstranění hrubnutí je nutné provést tepelné zpracování. Naopak výhodou použití tváření za tepla jsou malé přetvárné odpory a z toho plynoucí potřeba menších tvářecích sil.

## 2.1 Volné kování [7] [16] [33] [34] [38]

Volné kování (obr.9) můžeme rozdělit na ruční a strojní. Při ručním volném kování je polotovar tvářen silou, kterou vytváří kovář vlastním tělem za pomoci kladiva. Naopak při strojním kování je tato síla vytvářena postupným tlakem lisu či údery bucharu. Z důvodu úplného prokování působí buchar na polotovar více rázy jdoucími za sebou, díky čemuž je možné dosáhnout vyššího stupně překování. Díky úderům beranu odpaďávají s materiálu okuje. Naopak lis působí na polotovar postupným klidným tlakem a tak prokove materiál v celém jeho průřezu. Materiál je ohříván ve výhniích nebo v ohřívacích pecích ať už plynových, naftových nebo elektrických. Jako polotovar je nejčastěji používán válcovaný materiál nebo surové ingoty. Volně kované výkovky se vždy navrhují s technologickým přídatky a přídatky na obrábění v předepsaných tolerancích.

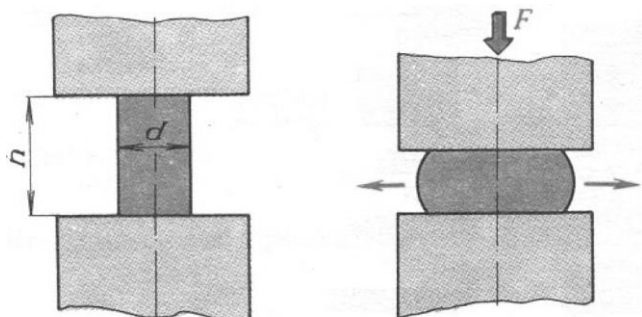


Obr. 9 Základní tvary kovadel [34]

Velkým problémem při kování jsou vzniklá tření mezi tvářecími nástroji a samotným materiálem, které způsobují soudečkovitost a u dlouhých těles vyboulény. Při výrobě volným kovářským nástrojem se používají jednoduché kovářské nástroje. Žádaného tvaru výkovku docílíme pomocí kovadel různých tvarů a speciálním polohováním výkovku. Kovadla dělíme na horní a spodní, mají jednoduché geometrické tvary jako např. rovinná, úhlová, válcová apod. (obr.9). Spodní části kovadel mají rybinový tvar pro jednoduché upevnění na stroj tj. buchar nebo lis. Pracovní plochy kovadel z důvodu menšího opotřebení jsou kaleny. Mezi metody volného kování můžeme zařadit: pýchování, prodlužování, prosazování, osazování, přesazování a děrování.

### • Pěchování

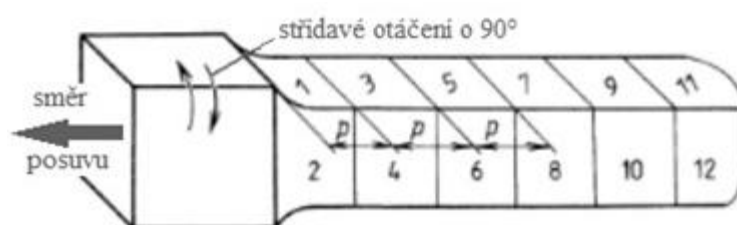
Pěchování je nejjednodušší tvářecí proces, při kterém dochází k plastické deformaci materiálu mezi dvěma čelistmi resp. v dutině, ať už plochou nebo tvarovou. Materiál je stlačován ve směru své osy a rozšiřuje se jeho příčný průřez tedy průměr. V důsledku tření mezi nástrojem a tvářeným materiálem dochází k nerovnoměrné deformaci, vzniká soudkovitý tvar (obr.10). Tomuto jevu se dá zabránit použitím mazacího tuku. Pěchování se používá především při výrobě kotoučů a jiných rotačních součástí. Pro tuto operaci je nutné rovnoměrné prohrátí celého materiálu a zajištění rovnoběžnosti čelních ploch.



Obr. 10 Pěchování - vznik soudkovitého tvaru [16]

### • Prodlužování

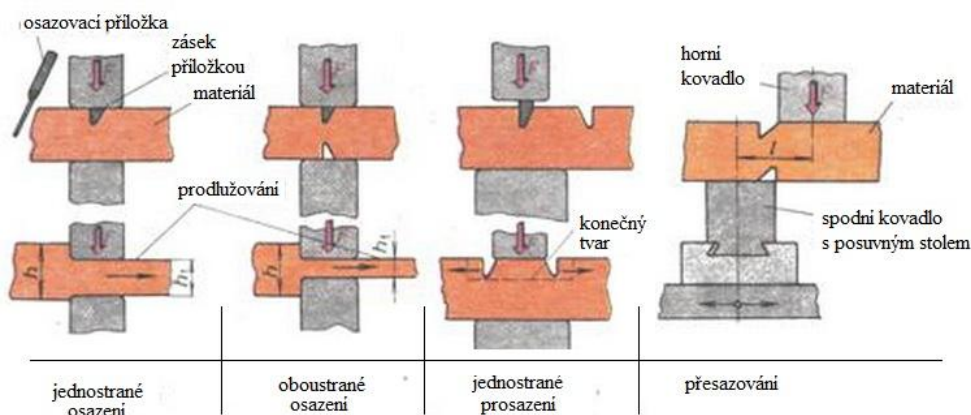
Další z již zmiňovaných operací je prodlužování nebo - li kování do délky. Jedná se o nejpoužívanější operaci při volném kování. Při této operaci dochází k prodlužování délky polotovaru a zároveň ke zmenšení průřezu a to tak, že je prováděno větší množství pěchovacích operací vedle sebe. Abychom zabránili rozšiřování materiálu v jednom směru je nutné s výkovkem otáček a to střídavě vždy o 90°, jak je vidět na obrázku (obr. 11).



Obr. 11 Prodlužování - postup úderů [34]

### • Přesazování, prosazování, osazování

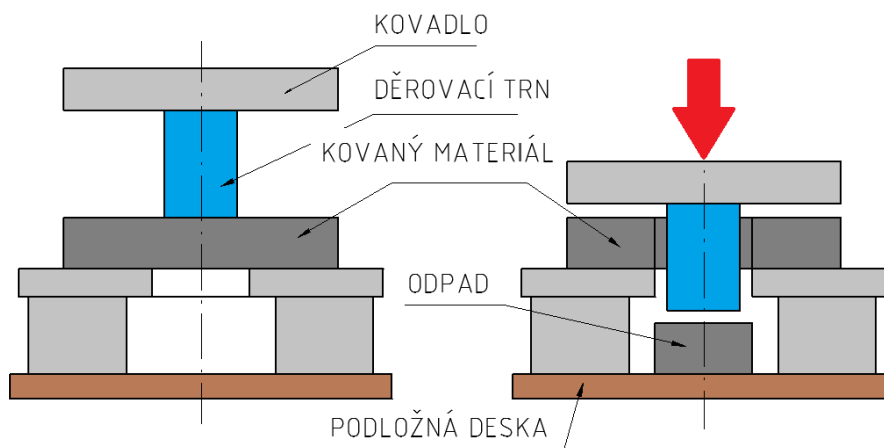
Těmito způsoby kování (obr.12) lze dosáhnout zmenšení průměrů u osazených hřídelů ve vymezených částech, prokování jednostranného vybrání, posunu jedné části výkovku vůči druhé a to tak, že osa posunuté části si zachová rovnoběžnost s osou původní.



Obr. 12 Schéma přesazování, prosazování a osazování [34]

- **Děrování**

Operaci děrování (obr.13) používáme tehdy, když potřebujeme vytvořit otvor do polotovaru. Jde - li o tenké desky je možné děrovat přímo na podložné desce s dírou. Jedná - li se však o větší otvor (do průměru 400 mm) v tlustších polotovarech je nutné použít plný děrovací trn. Otvory s větším průměrem než 400 mm se děrují dutým trnem díky čemuž nepotřebujeme tak velkou sílu k proražení. Děrovací trn má mírně kuželovitý tvar a do polotovaru se vtlačuje za pomoci nastavných příložek, asi do dvou třetin výšky děrovaného materiálu. Vtlačením do materiálu dojde k porušení původního tvaru. Poté se výkovek obrátí o 180° a zbytek materiálu ne dně díry se prorazí širší stranou trnu.



Obr. 13 Děrování [16]

## 2.2 Zápustkové kování [3] [5] [14][16] [35] [38]

Zápustkové kování používáme tehdy, když je zapotřebí vyrobit velký počet součástí stejného tvaru a to z oceli nebo jiných tvárných slitin. Předehřátý materiál se tváří v dutině zápustky (obr.14), jejíž tvar je shodný s tvarem výkovku a k rozměrům je přičtena hodnota smrštění. Zápustka se skládá ze dvou dílů, a to z horní zápustky, která se upíná do lisu nebo beranu bucharu a z dolní zápustky, která se upíná k šabotě nebo ke stolu. Zápustky dělíme na jednoduché (jedno dutinové), postupové (více dutinové), s přípravnou, předkovací nebo dokončovací dutinou.



Obr. 14 Zápustka s neostřiženým výkovkem [14]

**Přípravná dutina** – slouží k hrubému, případně přesnějšimu rozdělení do jednotlivých průřezů a tvarů. Dutina musí být zaoblená, aby se nepřerušila vlákna.

**Předkovací dutina** – nemá drážku pro výronek, protože objem dutiny je větší než v dokončovací dutině a používají se větší úkosy a radiusy. Tvar je řešen tak, aby v dokončovací dutině byl materiál pěchován. Účelem předkovací dutiny je snížit opotřebení dokončovací dutiny. Pro tvarově jednoduché výkovky a malé počty výkovků se nepoužívá.



**Dokončovací dutina** – má tvar hotového výkovku + smrštění, které závisí na druhu kovaného materiálu. Pro ocel asi 1% smrštění. Zápustky se předehřívají na 200-300°C. V dělicí rovině je po celém obvodu výkovku uzavřená výronková drážka.

Ohřátý materiál na kovací teplotu je vlivem působení horní zápustky přetvářen a postupně zaplňuje dutinu obou zápustek. Přebytečný materiál odteče cestou nejmenšího odporu a to do výronkové drážky. Tento přebytečný materiál (výronek) je po vytažení výkovku ze zápustky odstřižen protlačením součásti tvarovou střížnicí.. Oproti volnému kování se u zápustkového kování může dosáhnout vyšších přesností. V některých případech takových, že po kování nemusí následovat třískové obrábění. Pokud tomu tak není, obrábí se pouze funkční plochy, na kterých jsou z pravidla předepsané vyšší přesnosti než na plochách nefunkčních.

K zápustkovému kování můžeme použít tyto stroje:

- buchar
- svislý kovací lis
- vodorovný kovací lis
- vřetenový lis

#### • Zápustkové kování na bucharech

Buchar využívá principu rázu. Při každém zdvihu beranu se nahromadí potenciální energie, která se promění v kinetickou energii a ta se spotřebuje na deformaci kovaného materiálu. Na bucharu se dutina zápustky vyplňuje postupně, působením několika úderů beranu. Materiál zaplňuje dutinu snadněji ve směru rázu. Horní dutina se zaplňuje lépe než spodní z důvodu setrvačných sil. Na bucharech dochází vlivem rázového průběhu síly k opadávání okujů. Buchary nacházejí uplatnění jak v malosériové tak i v hromadné výrobě.

Velikost stroje a jeho pracovní schopnost se udává energií, proto se buchary řadí do energetických strojů.

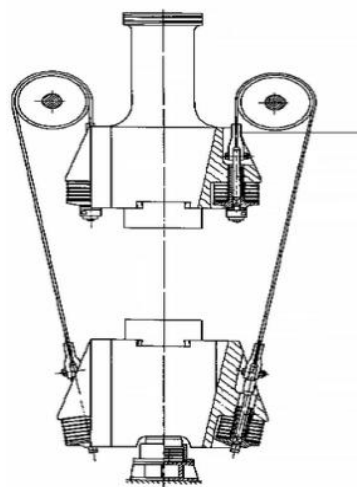
$$A = \eta * m * g * h_b, \quad (2.1)$$

kde: A kovací práce beranu bucharu [J]  
 $\eta$  účinnost bucharu [-]  
 m hmotnost beranu [kg]  
 g tíhové zrychlení [ $m \cdot s^{-2}$ ]  
 $h_b$  výška pádu beranu [m]

Materiál zaplní dutinu zápustky působením několika úderů jdoucimi rychle za sebou. Díky velkým rázům není přesnost vedení bucharů tak velká jako u lisů. Buchary můžeme rozdělit na:

#### ➤ Protiběžné

U protiběžných bucharů je nositelem energie kapalina (syntetický olej, voda nebo emulze). Kapalina působí tlakem na píst, který se promění na energii beranu. Schéma bucharu je vidět na obrázku (obr.15). Místo šaboty je ve stroji spodní beran, pohybující se současně proti hornímu beranu. Pohyb beranů bývá spojen pákovým převodem nebo hydraulicky. U velkých bucharů je pro každý beran samostatný pohon, tudíž nejsou mechanicky



Obr. 15 Schéma protiběžného bucharu [16]



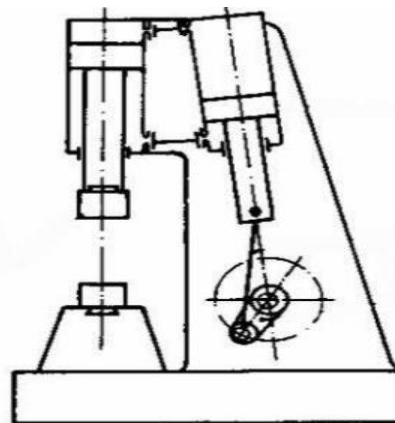
spojeny. Z důvodu absence šaboty jsou rázy tlumeny sadou pryžových kroužků. Spodní beran bývá těžší než horní beran, a to asi o 13%.

### ➤ Padací

Patří mezi nejjednodušší typy bucharů. Pracuje s vlastní tíhou beranu, který je vyzdvihnut do výšky a volným pádem spuštěn dolů. Pod samotnou zápustkou je šabota, která tlumí rázy a energii nespotřebovanou tvářením.

### ➤ Plynové

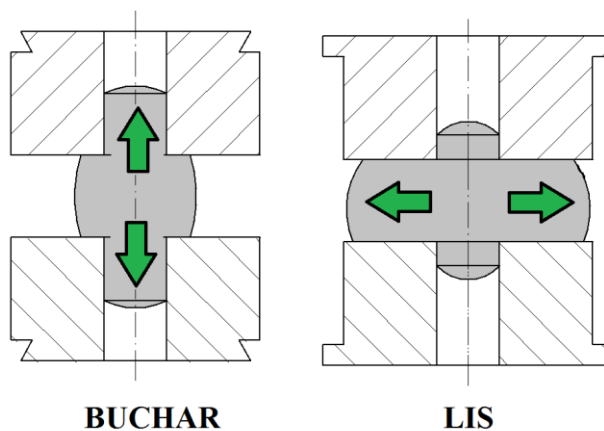
Plynové buchary (obr.16) jsou známy také pod názvem kompresorové nebo vzdušné. Tyto buchary pohání pára a nebo stlačený vzduch. Pára je vedena potrubím od parních kotlů a stlačený vzduch od kompresorů. Hnací mechanismus je tvořen pístem a pístnicí. Energie páry nebo stlačeného vzduchu se používá pro zdvižení beranu a k urychlení jeho pádu. Díky tomuto dosahuje rychlost beranu až 200 m/s a je tak docíleno dobrého zatékání kovu materiálu do hlubokých a zároveň úzkých otvorů.



Obr. 16 Schéma plynového bucharu [16]

### • Zápustkové kování na svislých kovacích lisech [6] [13] [24] [34]

Na rozdíl od bucharů, lisy pracují klidným tlakem a pokud nebudeme brát v potaz odpružení, je zdvih lisu neměnný. Nevýhodou kování klidným tlakem je, že nedochází k opadávání okují, které tak mohou být zakovány do povrchu výkovku. Proto se musí okuje odstraňovat a nebo zvolit ohřev polotovaru takový, u kterého nevzniká velké procento okují, např. indukční ohřev. Oproti bucharu stačí na lisu k dokončení výkovku jeden zdvih beranu. Z



Obr. 17 Směry tečení kovu při kování [13]

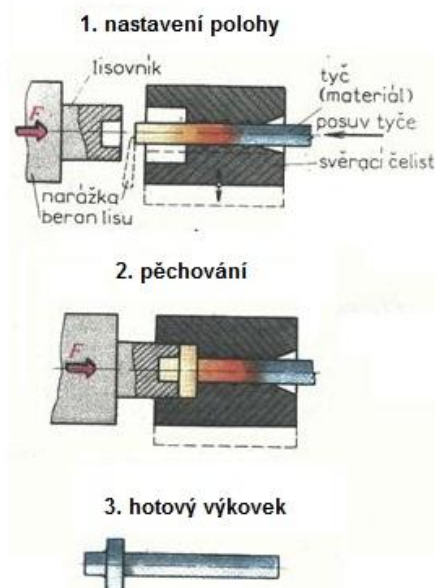
tohoto důvodu se zápustky méně opotřebovávají, protože žhavý materiál je ve styku se zápustkou pouze po dobu jednoho stlačení. Při kování na lisu teče materiál lépe ve směru kolmém na působící sílu. Směry tečení kovu při kování jsou vidět na obrázku (obr.17).

Díky kování v několika dutinách postupové zápustky dochází k prokování celé součásti. Používáme tři základní typy zápustek: přípravná, předkovací a dokončovací. Počet zdvihů lisu potřebný na vykování daného výkovku se musí rovnat počtu dutin v zápustce. Z důvodu odlišné konstrukce zápustek nesmí na sebe horní a dolní část zápustky dosedat, protože by mohlo dojít k vzájemnému poškození. Konstrukce lisu umožňuje použít vyhazovače, což dovoluje zvolit menší úkosity na výkovku a tím ušetřit určitou část materiálu.

- **Zápustkové kování na vodorovných kovacích lisech**

U kování na vodorovných kovacích lisech se díky plynulému posuvu tyčového materiálu dá částečně nebo plně zautomatizovat výrobní proces.

Kove se na horizontálních klikových lisech, které jsou vhodné pro pěchování již zmíněného tyčového materiálu v zápustkách. U vodorovného kování je zápustka třídlílná uzavřená, kove se tedy bez výronkové drážky. Dutinová část je složena ze dvou dílů, které jsou rozděleny svislou nebo vodorovnou dělicí rovinou a mají zdrsňený povrch, díky němuž a značné přitlačné síle zabraňují zpětnému posunutí tyče při pěchování. Tyč se posune do dorazem předem zajištěné kovací polohy, kde dvoudílný blok tyč sevře a zajistí tak stabilitu polohy. Princip kování je znázorněn na obrázku (obr.18). Vzdálenost dorazu je vypočtena tak, aby objem tyče v zápustce byl roven objemu konečného výkovku. Po zajištění polohy se doraz odsune a uvolní cestu dalšímu pěchovacímu dílu, který se posouvá po ose kování do dutiny zápustky. Předem, než, ale dojde k samotnému aktu, je nutné konec tyče ohřát na kovací teplotu a to buď indukčně nebo hořákem. Po zpěchování volného konce tyče je výkovek oddělen posuvným nožem.



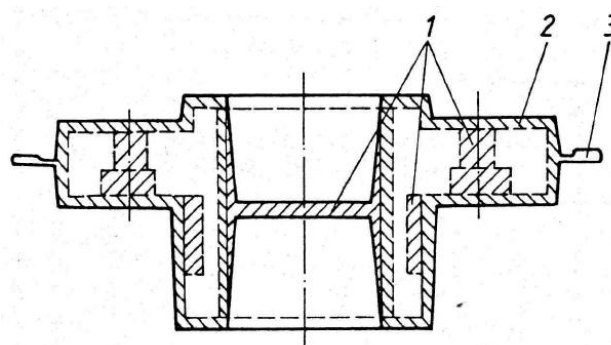
Obr. 18 Princip kování na vodorovných lisech [34]

### 3 CHARAKTERISTIKA VÝKOVKU [5] [6] [8]

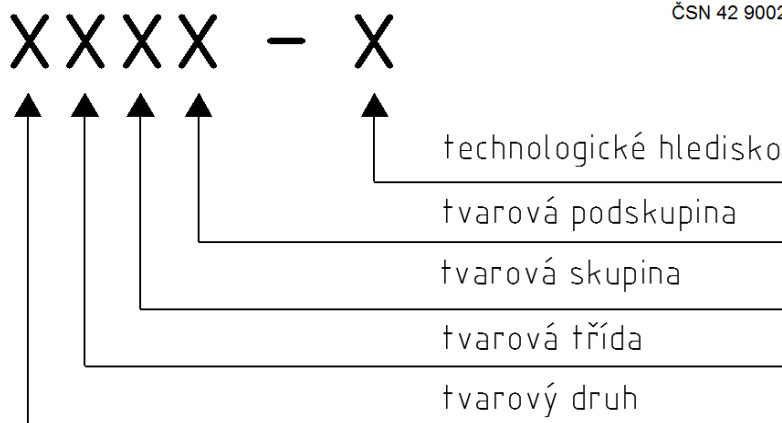
Při vypracování výkresu zápustkového výkovku kovaného na lisu je třeba určit označení výkovku podle normy ČSN 42 9002 - Rozdělení zápustkových výkovků podle složitosti tvaru. S ohledem na tvar výkovku a význačné zvláštnosti technologické obměny lze všechny výkovky rozdělit podle tvarového druhu, tvarové třídy, tvarové skupiny, tvarové podskupiny a podle technologického hlediska.

Po určení těchto pěti záležitostí nám vyjde pětímístné označení výkovku, jak je vidět na obrázku

(obr.20) Při vypracování výkresu výkovku se vychází z tvaru a rozměrů součástí ze kterých je nutné stanovit technologické přídavky a přídavky na obrábění (obr.19). Dále je nutné stanovit polohu dělicí roviny, hodnoty vnitřních a vnějších úkosů, minimální tloušťky stěn, dna a blány, minimální hodnoty zaoblení hran a přechodů, stanovit mezní úchytky a tolerance rozměrů a tvarů na základě tvarové složitosti.



Obr. 19 Zápustkový výkovek (1- technologický přírůstek, 2- přírůstek na obrábění, 3- výronek) [5]



Obr. 20 Význam jednotlivých číslic v číselném označení výkovku

- **Dělicí rovina**

Dělicí rovinou (plochou) se rozumí plocha, která rozděluje zápustku na jednotlivé díly, tak aby bylo možné výkovek po vykování snadno vyjmout z dutiny zápustky. Poloha dělicí roviny předurčuje tok materiálu v dutině zápustky. Její poloha vzhledem k výkovku může být buď rovnoběžná nebo kolmá na hlavní osu výkovku. Dělicí rovina může být přímá, lomená, zakřivená v jednom či více směrech.

### 3.1 Přídavky a mezní úchytky rozměrů a tvarů [3] [5] [8]

- **Přídavky na obrábění**

Přídavek na obrábění je přídavek materiálu na plochy, které se mají po zápustkovém kování obrábět. Přídavky na obrábění se určují dle normy ČSN 42 9030. Přídavky na obrábění jsou uvedeny pro obvyklé, přesné a velmi přesné provedení. Přídavky na obrábění se určí podle přesnosti výroby největšího rozměru ve směru kolmo k rázu a podle největší výšky hotového výrobku. Přídavky na obrábění jsou shodné pro všechny rozměry výkovku.

- **Přídavky technologické**

Přídavek technologický je přídavek, kterým se doplňuje z hlediska kovářské technologie tvar výkovku na tvar vhodný pro kování a to o úkosy, rádiusy a podobně. Přídavky technologické se určují dle normy ČSN 42 9030. Konstrukční kritéria výkovku zahrnují limitní hodnoty prvků jako:

- zaoblení hran a přechodů
- nejmenší tloušťka dna, blány a stěn výkovku
- boční úkosy

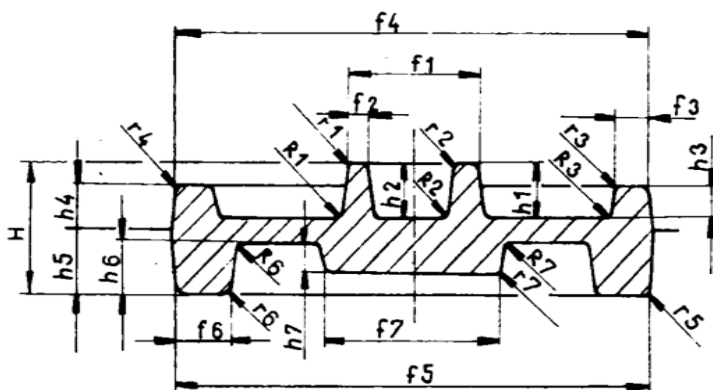
### ➤ Zaoblení hran a přechodů

Ostré přechody a hrany v zápustce znesnadňují tečení materiálu, díky tomu se rychleji zahřívají, což vede k vzniku malých tepelných trhlinek nadměrnému

opotřebení a může dojít i k prasknutí zápustky. Proto se musejí hrany a přechody zaoblit, což sníží odpor tečení materiálu a zvýší životnost zápustky.

Zaoblení hran a přechodů se stanoví podle hloubky ( $h$ ) a podle poměru hloubky

a šířky příslušné části výkovku u uvažovaného poloměru zaoblení jak je vidět na obrázku (obr.21). Pro výpočet  $h/f$  se výška výkovku odečítá v přilehlé části otvoru.



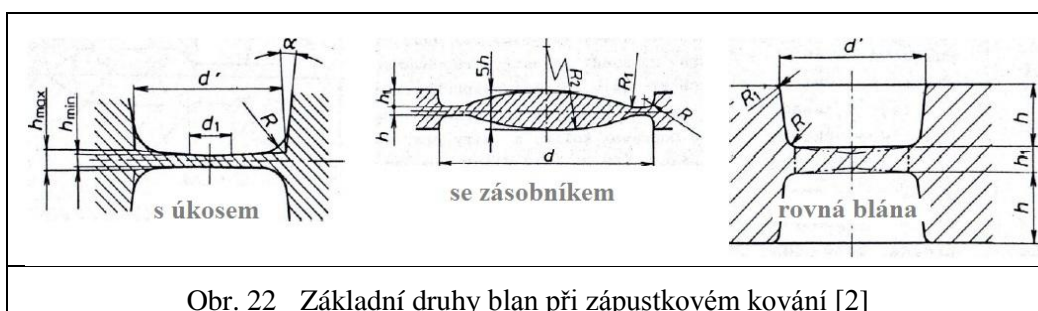
Obr. 21 Hodnoty zaoblení hran a přechodů [3]

### ➤ Nejmenší tloušťka dna, blány a stěn výkovku

Nejmenší tloušťka dna, blány a stěn je dána hlavně možnostmi jejich vyplnění materiálem a velikostí vznikajících tlaků. Dále minimální tloušťku ovlivňuje druh tvářeného materiálu, způsob toku materiálu a tvarová složitost materiálu. Blány vznikají při předkování děr větších průměrů, otvory malých rozměrů se nepředkovávají. Blány můžeme rozdělit na (obr.22):

- s úkosem
- se zásobníkem
- rovná blána

Vzniklá blána se odstříhne společně s výronkovou drážkou. Předkování děr je ekonomicky velice výhodné. Nejmenší rozměry dna, blány a stěn výkovku jsou dány normou ČSN 42 9030 a vychází z největšího rozměru výkovku ve směru kolmo k rázu a z největší výšky výkovku.



Obr. 22 Základní druhy blan při zápustkovém kování [2]

### ➤ Boční úkosy

Boční úkos je technologický přídavek, o který musíme zvětšit minimální přídavek na obrábění. Boční úkosy pro zápustkové výkovky se volí z důvodu snadnějšího vyjmutí ze zápustky. Úkosy aplikujeme ke zvolené dělicí rovině. Hodnota úkosu pro kování na lisech je asi  $3^\circ$ . Čím větší je úkos, tím snadněji lze výkovek vytáhnout ze zápustky. Z důvodu

chladnutí se výkovek snaží sevřít stěny zápustky a tak se úkosy vnitřních otvorů dělají větší, než úkosy stěn. Pro vodorovné kovací lisy může být i nulový úkos. Doporučené hodnoty úkosů jsou uvedeny v tabulce (tab.1).

Tab. 1 Úkosy

	<b>vnější</b>	<b>vnitřní</b>
Zápustkové výkovky se běžně vyrábějí s úkosy	3°	7°
Vzhledem k rozdílné úrovni technologického zařízení výrobců výkovků se dovolují úkosy - pro buchary a lisy bez vyhazovače	7°	10°
- lisy s vyhazovačem	2° až 3°	3° až 5°
- vodorovné kovací stroje	0° až 5°	0° až 5°

#### ➤ Úchylky rozměrů a tvarů

Úchylky rozměrů a tvarů se stanoví podle tvarové složitosti výkovku, která je dána normou ČSN 42 9002 a podle stupně přesnosti výkovku z největších rozměrů výkovku ve směru kolmo k rázu a ve směru rázu. U nerotačních tvarů je největší rozměr výrobku ve směru kolmo k rázu definován střední hodnotou součtu největší šířky a délky výkovku. Dovolené úchylky a tolerance jsou stanoveny normou ČSN 42 9030. Hodnoty mezních úchylek se jsou uvedeny pouze pro vnější rozměry. Pro vnitřní rozměry platí tytéž, ale s

### 3.2 Dělení výchozího polotovaru [9] [35] [37]

Jako polotovar pro technologii tváření se používá např. tyčový materiál, svitky a tabule. Tyto polotovary se ale dodávají ve velkých délkách a tak je nutné je rozdělit na požadovanou přesnou hmotnost respektive na požadovaný rozměr. Už první operace při tváření může mít dopad na kvalitu konečné součásti v místě dělení. Do metod dělení můžeme zařadit:

- řezání
- upichování
- lámání
- sekání
- stříhání



- **Dělení řezáním**

Materiál lze řezáním dělit na okružních, pásových nebo rámových pilách. Při řezání část materiálu odchází ve formě třísek (prořez), jejich množství záleží na šířce pásu pily. Nevýhodou tohoto řezání je nízká produktivita a velká spotřeba řezných nástrojů. Řezáním lze zajistit hladký řez, kolmost k podélné ose polotovaru a přesnou hmotnost polotovaru. Na obrázku (obr.23) je vidět technologie řezání kruhové tyče na pásové pile.



Obr. 23 Řezání kruhové tyče [37]

- **Dělení upichováním**

Používá se velice zřídka, protože je to drahý způsob dělení. Provádí se na upichovacích automatech nebo univerzálních soustruzích. Při upichování dochází k velkým ztrátám na materiálu, ale na druhou stranu se dá získat velmi hladký povrch.

- **Dělení lámáním**

K lámání dochází za studena na klikových, výstředníkových nebo hydraulických lisech. Před lámáním je nutné v místě, kde dojde k ulomení vytvořit vrub o šířce 5 až 7 mm a o hloubce  $0,1D$ . a to naseknutím, naříznutím nebo pomocí plamenu. Tento způsob dělení je limitován druhem materiálu, nelze totiž dělit měkké materiály, které se pouze ohnou. Dá se říct, že mez pevnosti musí být vyšší jak 600 MPa. Nevýhodou je špatná kvalita lomové plochy.

- **Dělení sekáním**

Dělení sekáním (obr.24) se používá poměrně málo, a to především u volného kování. Jako nástroj se používá sekáč, který lze používat ručně nebo ho upnout do stroje. Do nevýhod patří vzniklé záseky na polotovaru a nerovná plocha.



Obr. 24 Dělení sekáním [35]

- **Dělení stříháním**

Stříhání je nejrozšířenější metodou v dělení materiálu, ale i v technologii tváření. Řadí se mezi nejlevnější a nevykonnější způsoby dělení. Nevýhodou stříhání je snížení jakosti střížné plochy. Stříhání se používá nejen na přípravu polotovarů, ale i na vystřihování součástek z plechů a na dokončovací nebo pomocné operace.

Nízkouhlíkové a nízkolegované oceli s pevností zhruba 400 MPa se stříhají za studena ( $300 \div 450^{\circ}\text{C}$ ). Tvrdé materiály se ohřívají na teplotu kolem  $700^{\circ}\text{C}$ . Na lisech se stříhacími přípravky se za tepla dělí tyče až do průměru 250 mm. V následující tabulce (tab.2) je uveden pro daný typ nůžek maximální průměr tyče stříhané za studena s mezi pevnosti  $R_m = 450 \text{ MPa}$  (tab.2).

Tab. 2 Přiřazení maximálního průměru stříhané tyče typu nůžek

Typ stroje	ScK 135	ScK 500	ScKU 800	ScK 1000	ScK 1600
průměr [mm]	106	132	170	190	135

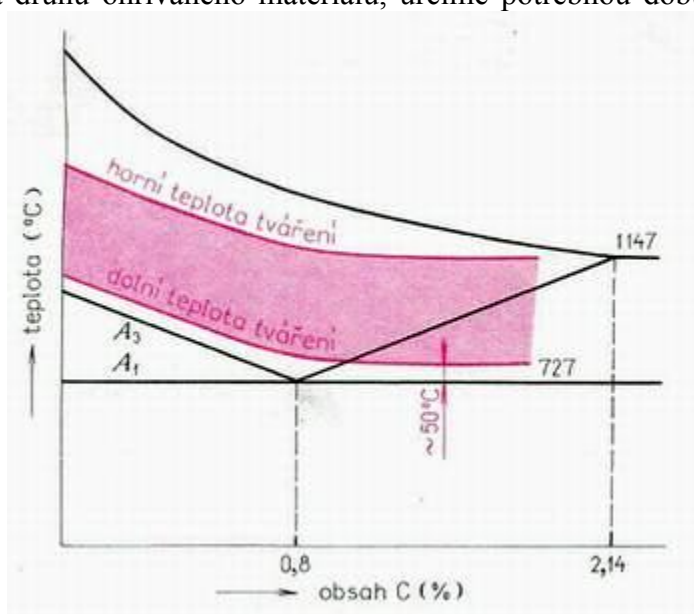
### 3.3 Ohřev materiálu [9] [25] [34] [35]

Aby došlo k dodržení technologických podmínek zpracování je důležité dosáhnout správných kovacíh teplot. Oblast tvářecích teplot uhlíkových ocelí je na obrázku (obr.25)

Metoda ohřevu závisí převážně na požadované sérii výroby, přesnosti výroby a hlavně na velikosti polotovaru. Nabízí se dvě možnosti ohřevu a to komorová nebo indukční. Podle vybrané metody, rozměru a druhu ohřívajícího materiálu, určíme potřebnou dobu ohřevu a množství opalu. Procento opalu pro indukční ohřev má hodnotu 0,5% a pro ohřev v komorové peci 2 až 4%. Pokud bychom chtěli zabránit vzniku okují, museli bychom ohřívát materiál v ochranné atmosféře.

Ohřev musí být přiměřený, tak aby došlo k rovnoměrnému prohřátí celého průřezu co nejrychleji, ale aby zase nedošlo k hrubnutí struktury, která sníží houževnatost materiálu. Během tváření materiál chladne až k dolní hranici tvářecích teplot, a tak pokud tváření není u konce je nutné znovu provést ohřev.

Doba ohřevu  $t$  na teplotu tváření závisí na tepelné vodivosti ohřívajícího materiálu, jeho rozložení v peci a na tepelné bilanci samotné pece.



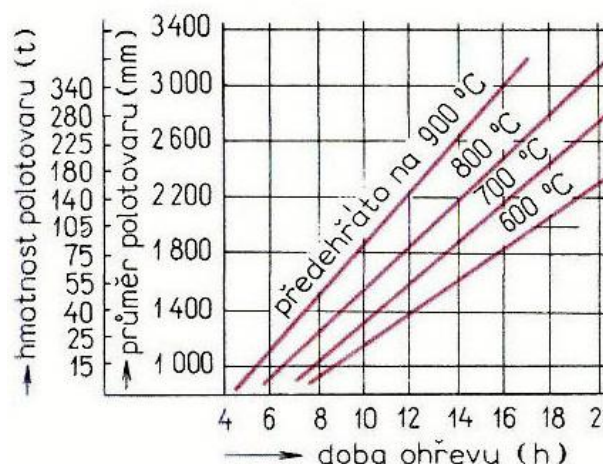
Obr. 25 Oblast tvářecích teplot [35]

## Výpočet potřebného času pro ohřátí z teploty okolí na 1200 °C

$$t = \alpha * k * D * \sqrt{D}, \quad (3.1)$$

kde: D - průměr nebo délka strany průřezu ohřívaného materiálu [m]  
 k - součinitel vlivu chemického složení materiálu (u uhlíkových ocelí je roven 10, u legovaných 10 až 20)  
 α - součinitel závislý na průřezu materiálu a na jeho rozložení v peci, viz obrázek (obr.26)  
 t - čas potřebný pro ohřátí z teploty okolí na teplotu 1200 °C [h]

Rozložení polotovarů v peci	α	Rozložení polotovarů v peci	α
	1		1
	1		1,4
	2		4
	1,4		2,2
	1,3		2



Obr. 26 Součinitele závislosti α na průřezu materiálu a jeho rozložení v peci [34]

Obr. 27 Závislost hmotnosti a průměru polotovaru na době ohřevu [34]

### 3.4 Volba tvářecího stroje [22]

Vzhledem k množství vyráběných kusů, lepšímu zaplňování zápustky kovem ve směru tvářecí síly a vzhledem k dostatečné výkonnosti a přesnosti byl pro výrobu výkovku závěsného šroubu zápustkovým kování zvolen protiběžný buchar od firmy BÊCHÉ (obr.28). Tento typ tvářecího stroje je vhodný pro zpracování složitých zápustkových výkovků, jak objemově tak i mechanicky. Stojan bucharu je z lité oceli, stroj je vybaven hydraulickým pohonem a elektronickým ovládáním pro volbu posloupnosti a energie úderů beranu.

V praxi se potom vychází z dostupným strojů dané firmy.



Obr. 28 Protiběžný buchar od firmy BÊCHÉ [22]



- **Výpočet velikosti bucharu**

Velikost bucharu je závislá na práci (A) potřebné pro poslední úder, kdy je odpor tvářeného materiálu proti deformaci největší.

**Výpočet práce pro nekruhový výkovek**

$$A = 18 * (1 - 0,005D_D) * (1,1 + \frac{2}{D_D})^2 * (0,75 + 0,001 * D_D^2) * D_D * \sigma_s \text{ [J]}, \quad (3.2)$$

kde:  $D_D$ - průměr výkovku [mm]  
 $\sigma_s$  - mez pevnosti materiálu za kovací teploty [MPa]

**Výpočet práce pro nekruhový výkovek**

Vzorec je stejný jako pro výpočet pro nekruhový výkovek až na to, že místo hodnoty  $D_D$  se dosadí hodnota  $D_{red}$ , kterou určíme z následujícího vzorce:

$$D_{red} = 1,13 * \sqrt{F_D} \text{ [cm]} \quad (3.3)$$

$$A_n = A(1 + 0,1 * \sqrt{\frac{L_D}{B_{Dstř}}}) \text{ [J]} \quad (3.4)$$

$$B_{Dstř} = \frac{F_D}{L_D}, \quad (3.5)$$

kde:  $F_D$  - průmět plochy výkovku v ploše kolmé ke směru rázu [cm<sup>2</sup>]  
 $L_D$  - délka výkovku [cm]  
 $A_n$  - práce posledního úderu pro nekruhový výkovek [J]  
 $D_{Dstř}$  - šířka nekruhového výkovku [cm]

## 4 ZÁPUSTKY PRO BUCHARY [2] [33] [38]

Tvar dokončovací dutiny odpovídá tvaru výkovku a jeho rozměrům, které jsou zvětšeny o hodnotu smrštění (tab.3). Hodnota smrštění nemusí být všude stejná. Ta se může u výrazně podlouhlých výkovků lišit ve směru hlavní osy. O hodnotu smrštění nezvětšujeme zaoblení hran a přechodů.

Při konečném stanovení hodnoty smrštění je nutné brát v potaz teplotu výkovku a jeho tvar. Pokud kovem v oblasti minimálních kovacích teplot, hodnoty smrštění se sníží až o 30%. U dlouhých podélných výkovků se naopak hodnota smrštění zvětšuje o polovinu.

Tab. 3 Hodnoty smrštění dle ČSN 22 8306

materiál	slitiny Al	běžné oceli	Al bronzy	oceli ložiskové	mosaz	oceli austenitické
<b>hodnota smrštění [%]</b>	0,6 ÷ 1	1 ÷ 1,3	1 ÷ 1,3	1,5	1 ÷ 1,7	1,5 ÷ 2

Dále najdeme v dutině zápusťky výronkovou drážku, která může být vnější, vnější a vnitřní, jen vnitřní a nebo dokonce může chybět úplně.

Co je však velice důležité při konstrukci zápustek, je to z jakého materiálu budeme zápustky vyrábět. Z důvodu velkého mechanického a tepelného namáhání jsou na materiál kladeny vysoké požadavky, především na tvrdost, houževnatost, dobrou rozměrovou stálost, vysokou pevnost za tepla a odolnost proti opotřebení. Dále, protože jsou zápustky vyráběny frézováním (obr.29) na CNC strojích je důležité, aby se materiál dal dobře obrábět. V praxi se pak pro málo namáhané zápustky volí materiál 19 446 (Cr, Ni, W) a pro vysoce namáhané 19 559 (Cr, Ni, Mo). Mez pevnosti zápustek dosahuje po zušlechtní až 1400 Mpa.

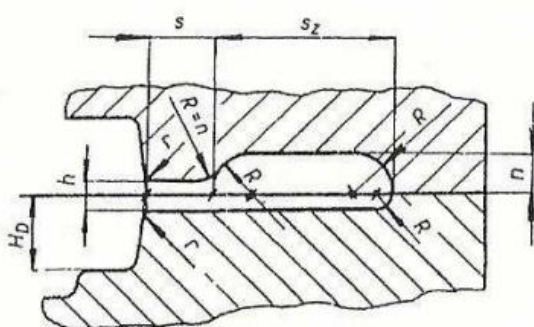


Obr. 29 Frézování zápustky [29]

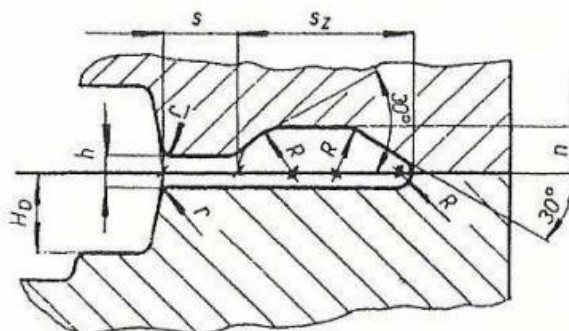
#### 4.1 Výronková drážka [9] [16] [34]

Výronková drážka je mezera v dělicí rovině mezi zápustkami. Výronkovou drážku navrhujeme současně s dutinou zápustky. Při kování na zdvihových strojích je výška můstku dána dolní úvratí stroje. Výronková drážka se skládá z můstku ( $s$ ) a zásobníku ( $s_z$ ). Můstek reguluje tlak uvnitř dutiny zápustky a do zásobníku odchází přebytečný materiál. Čím je výkovek tvarově složitější, tím větší musí být odpor v drážce proti vytékání materiálu. Díky tomuto odporu dojde k dokonalému zaplnění zápustky. Tvar a rozměry výronkové drážky pro buchary najdeme v normě ČSN 22 8308. V této normě můžeme najít tři základní typy provedení výronkových drážek (obr.30,31,32). Typ I a II, obvyklé provedení a typ III pro složité výkovky s oboustranným zásobníkem. U výronkových drážek typu I a II se zásobník obvykle umísťuje do horního dílu zápustky, ale z technických důvodů je možné jej umístit do spodního dílu. Typ III má výronkovou drážku umístěnou jak v horním tak v dolním dílu zápustky.

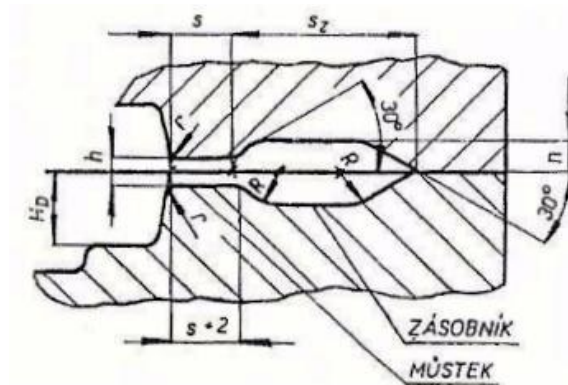
**Používané typy výronkových drážek:**



Obr. 30 Typ I - obvyklý [6]



Obr. 31 Typ II - obvyklý [6]



Obr. 32 Typ III - pro složité výkovky [6]

- **Výpočet výronkových drážek**

Jako první se vypočítá výška výronku (h) dle následujícího vztahu:

$$h = 0,015 \text{ až } 0,012 * \sqrt{F_D}, \quad (4.1)$$

kde: h - výška výronku [mm]  
 $F_D$  - průmět plochy výkovku v ploše kolmé ke směru rázu [cm<sup>2</sup>]

Hodnotu 0,012 volíme v případě největších výkovků a hodnotu 0,015 pro malé výkovky.

Po výpočtu výšky výronku (h) se z následující tabulky (tab.4) určí další rozměry výronkové drážky.

Tab. 4 Hodnoty pro výronkovou drážku Typ I, II, III [6]

číslo	h	n	pěchování			protlačování					
						jednoduché			složité		
			s	sz	$F_{výr}$	s	sz	$F_{výr}$	s	sz	$F_{výr}$
1	0,6	3	6	18	0,52	6	20	0,61	8	22	0,74
2	0,8	3	6	20	0,69	7	22	0,77	9	25	0,88
3	1	3	7	22	0,80	8	25	0,91	10	28	1,04
4	1,6	4	8	22	1,02	9	25	1,13	11	30	1,55
5	2	4	9	25	1,36	10	28	1,53	12	32	1,77
6	3	5	10	28	2,01	12	32	2,33	14	38	2,78
7	4	6	11	30	2,68	14	38	3,44	16	42	3,85
8	5	7	12	32	3,43	15	40	4,34	18	46	5,06
9	6	8	13	35	4,35	16	42	5,30	20	50	6,42
10	8	10	14	38	6,01	18	46	7,45	22	55	9,03
11	10	12	15	40	7,68	20	50	9,88	25	60	12,08

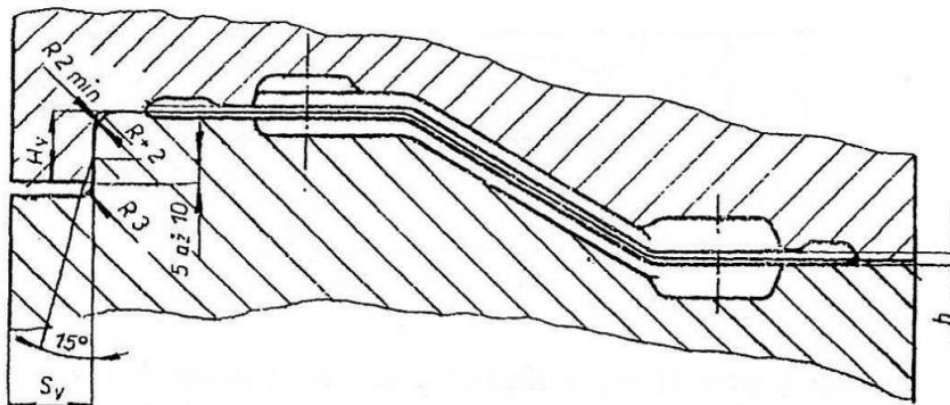
\*  $F_{výr}$  platí pouze pro výronkovou drážku typ I a II.

\*\* h,n,s,sz - [mm],  $F_{výr}$  [cm<sup>2</sup>]



- **Zámky pro zachycení posouvajících sil**

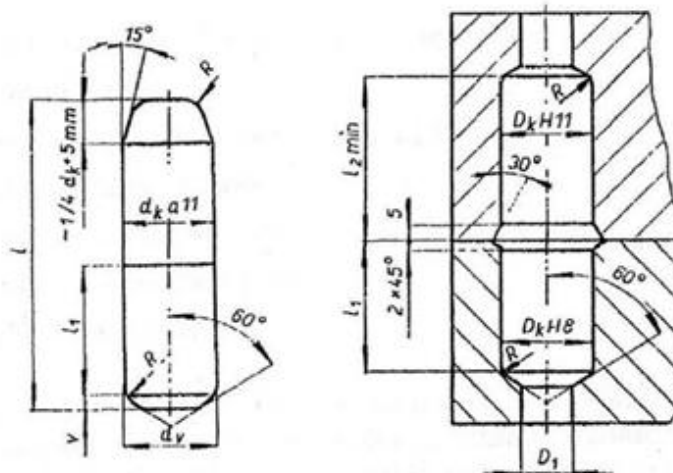
Zámky pro vedení zápustek a zachycení posouvajících sil bývá u zápustek s lomenou dělicí rovinou (obr.35). Rozložením kovací síly na šikmé ploše vzniknou posouvající síly, které zámek zachytí. Výška vedení se stanoví podle potřeby v rozsahu 20 až 60 mm, tedy stejný jako u kruhového vedení.



Obr. 35 Zámek pro zachycení posouvajících sil [6]

- **Vodící kolíky**

Vodící kolíky zamezují přesazení a zachycují tlaky, které by namáhaly vedení stroje. Při vedení zápustek kolíky se umístí 2 až 4 kolíky v rozích dolní zápustky, v horní zápustce jsou díry, do kterých kolíky zapadnou. Pro umístění kolíků a děr v zápustce je nutné vypočítat minimální vzdálenost od okraje zápustky. Kruhové vedení může zajistit skruž, zalisovaná v horní zápustce. Tvar a rozměry kolíku a otvoru pro vodící kolík jsou na (obr. 36).



Obr. 36 Obr. Tvar a rozměry vodícího kolíku a otvoru pro vodící kolík [6]

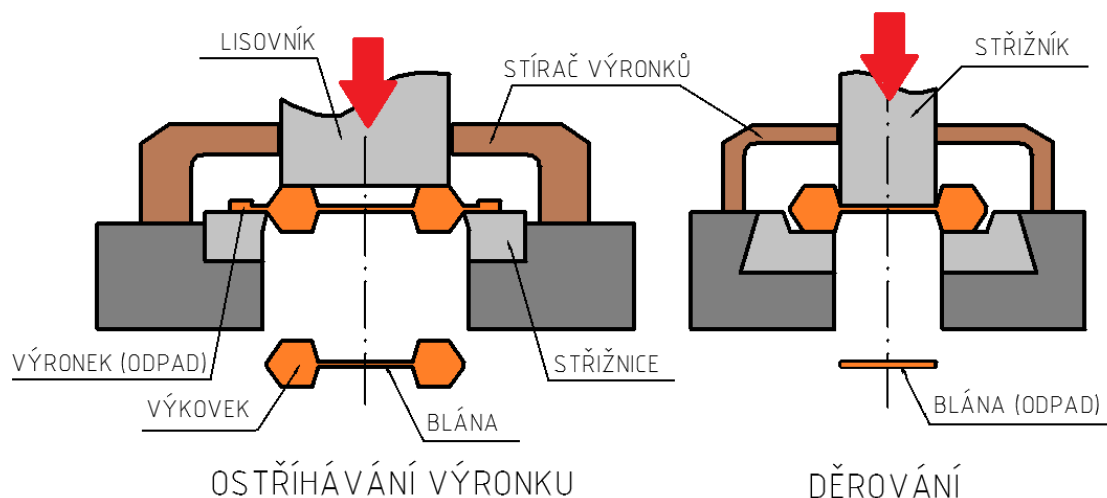
Minimální vzdálenost kolíků od okraje zápustky (a):

$$a = \frac{5}{6} d_k + 10, \quad (4.2)$$

kde: a - minimální vzdálenost kolíků od okraje zápustky [mm]  
 $d_k$  - průměr vodícího kolíku [mm]

### 4.3 Ostřížení a děrování výkovku

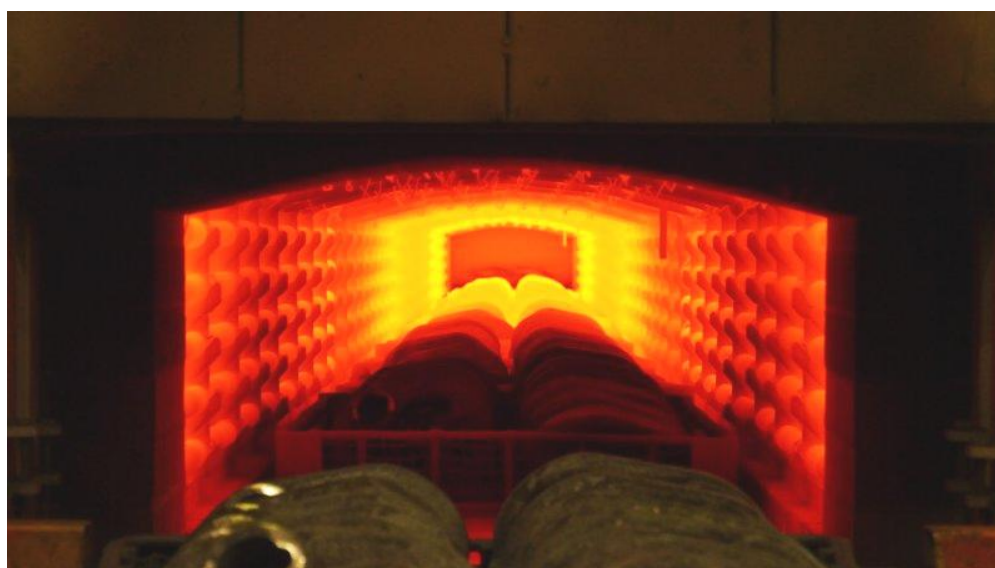
Po vykování výkovku se z něj musí odstranit výronková drážka pomocí ostřížení a blána, která se odstraní děrováním (obr.37). Vše probíhá buď za tepla nebo za studena na ostříhovacích lisech.



Obr. 37 Ostříhávání a děrování [34]

### 4.4 Tepelné zpracování výkovků

U zápustkových výkovků se mohou provádět všechny druhy tepelného zpracování např. (žihání normalizační, na měkko, na odstranění pnutí a jiné). Nejčastěji se však realizuje normalizační žihání, které slouží pro odstranění nestejnoměrné struktury způsobené předchozím ohřevem a tvářením, dosáhneme tak stejnoměrných mechanických vlastností. Většinou jsou výkovky dokončovány obráběním, proto je vhodné provést žihání na měkko, díky kterému získáme vyhovující obrobiteľnost.



Obr. 38 Tepelné zpracování zápustkových výkovků [23]



## 5 TECHNOLOGIE VÝROBY ZÁVĚSNÉHO ŠROUBU [29]

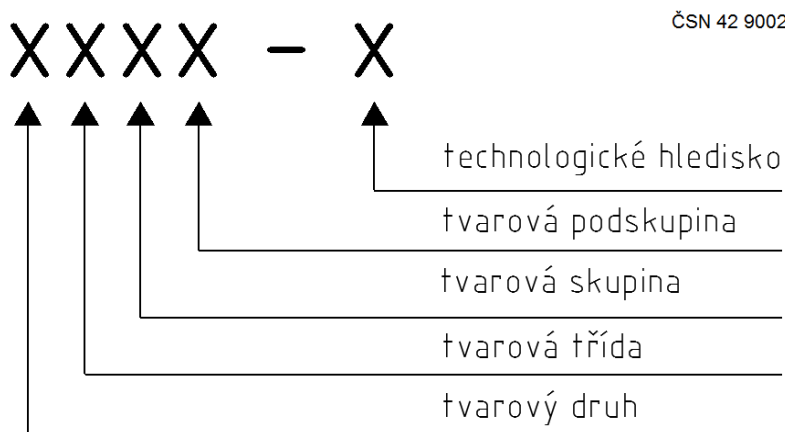
### Materiál výkovku

Jako výchozí materiál pro výkovek byla je předepsána ocel s označením 11 375.1 dle ČSN a podle novější normy ČSN EN nese označení S235JR. Jedná se o nelegovanou jakostní konstrukční ocel s obsahem uhlíku 0,2%. Dále pak ocel obsahuje - Mn max. 1,4%; P max. 0,035%; N max. 0,012% a S max. 0,035%. Pevnost v tahu nabývá hodnot od 350 do 500 Mpa a minimální mez kluzu je rovna 195 Mpa. Pokud je tato ocel tvářena za tepla, splňuje deklarované mechanické vlastnosti pouze po následném normalizačním žíhání.

### 5.1 Vypracování výkresu výkovku

#### Zařazení výkovku dle složitosti tvaru

Podle normy ČSN 42 9002 se výkovky označují číselně ve tvaru xxxx - x. Význam jednotlivých číslic v číselném označení výkovku je na (obr.38).



Obr. 39 Význam jednotlivých číslic v číselném označení výkovku [6]

Tvarový druh:	7 - výkovky kombinovaných tvarů plné i duté
Tvarová třída:	9 - členité
Tvarová skupina:	8 - výkovky s otvorem
Tvarová podskupina:	0 - bez přesahu
Technologické hledisko:	1 - výkovky s dělicí plochou ve směru hlavní osy, souměrné

Výsledné označení výkovku dle ČSN 42 9002: **7980 - 1**

#### Přídavky na obrábění

Přídavky na obrábění ploch byly určeny dle normy ČSN 42 9030 pro obvyklé provedení na 3mm, a to podle největšího rozměru hotového výrobku ve směru kolmo k rázu což je v našem případě 128 mm a podle největší výšky hotového výrobku, která je 120 mm.

### Přidavky technologické

Přidavky technologické vychází ze stejné normy jako přidavky na obrábění. Poloměr zaoblení hran,  $r = 4 \text{ mm}$  a poloměr zaoblení přechodů  $R = 10 \text{ mm}$ . Nejmenší tloušťka dna a stěny výkovku je  $15 \text{ mm}$ . Úkosy pro zápusťkový výkovek byly zvoleny dle tabulky (tab. 1). Doporučené hodnoty pro kování na bucharu - vnější úkosy  $7^\circ$ , vnitřní úkosy  $10^\circ$ .

### Úchytky a tolerance rozměrů a tvarů

Podle již předem určeného označení výkovku 7980 - 1 a stupně přesnosti pro provedení 1, vychází stupeň přesnosti pro rozměry kolmé k rázu IT6 a pro rozměry ve směru rovnoběžném k rázu IT7. Norma neuvádí úchytky a tolerance pro vnitřní rozměry, ty získáme změněním znamének u vnějších rozměrů. Dále dle normy určíme mezní úchytky pro zaoblení přechodů a pro zaoblení hran.

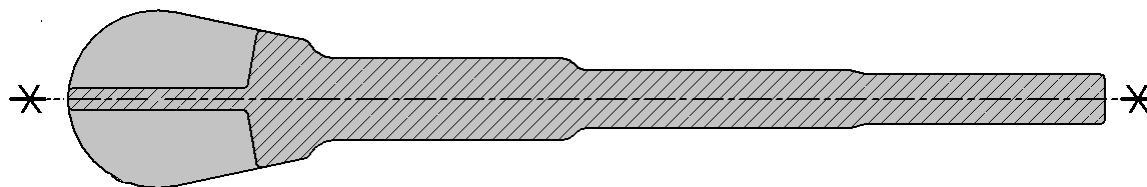
Pokud byly určeny stupně přesnosti, je potřeba k nim určit mezní úchytky a tolerance. Ve směru kolmém k rázu je hodnota úchylek  $\begin{smallmatrix} +2,3 \\ -1,1 \end{smallmatrix}$  a tolerance  $2 \text{ mm}$ , v rovnoběžném  $\begin{smallmatrix} +3,5 \\ -1,8 \end{smallmatrix}$  a tolerance  $5,3 \text{ mm}$ . Pro vnitřní rozměry platí stejné úchytky pouze s opačnými znaménky.

mezní úchytky zaoblení přechodů:  $\begin{smallmatrix} +0,5 \\ -0,25 \end{smallmatrix} * R \Rightarrow R_{-2,5}^{+5}$

mezní úchytky zaoblení přechodů:  $\begin{smallmatrix} +0,25 \\ -0,5 \end{smallmatrix} * r \Rightarrow r_{-2}^{+1}$

### Volba polohy dělicí roviny

Dělicí rovina výkovku by měla být zároveň osou symetrie, čímž se sníží spotřeba materiálu. Pro usnadnění, snížení výšky zápusťek a pro snadnější tok materiálu by měla být rovinná. Proto byla zvolena dělicí rovina v podélné ose závěsného šroubu (obr.39).



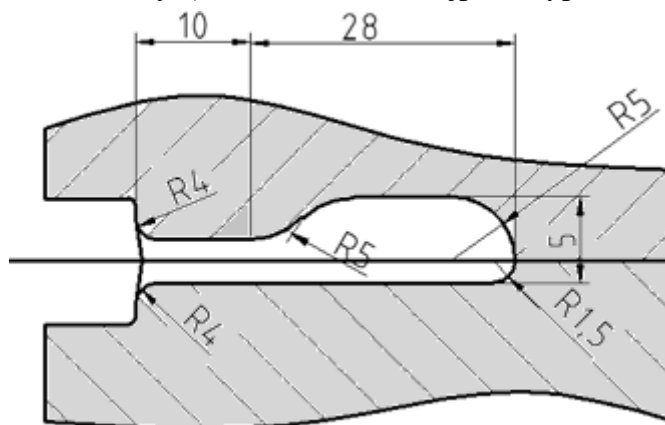
Obr. 40 Poloha dělicí roviny u výkovku

### Tvar a rozměry výronkové drážky

Pro stanovení rozměrů výronkové drážky (obr.40) se musí nejprve vypočítat výška výronku ( $h$ ) dle vzorce (4.5). Protože se jedná o středně velký výkovek byla zvolena hodnota koeficientu  $0,014$ . Průmět plochy výkovku do plochy kolmé ke směru rázu byl určen pomocí programu Autodesk Inventor.

$$h = 0,014 * \sqrt{45\,659} \\ = 2,99 \text{ mm}$$

Podle tabulky hodnot pro výronkovou drážku v normě ČSN 22 8308 je nutné



Obr. 41 Výronková drážka typ I, obvyklý a její rozměry [6]



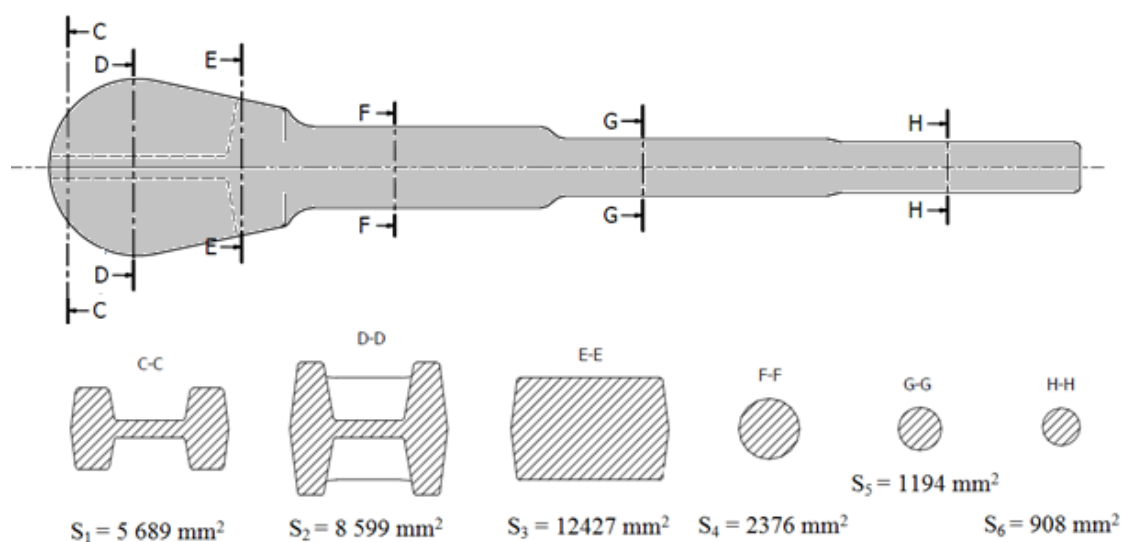
zaokrouhlit výšku výronkové drážky na nejbližší hodnotu, v našem případě tedy  $h = 3$  mm. Dále podle této hodnoty najdeme v té samé tabulce zbylé rozměry výronkové drážky (tab.5).

Tab. 5 Hodnoty rozměrů výronkové drážky, typ I.

$h$ [mm]	$n$ [mm]	$s$ [mm]	$s_z$ [mm]	$F_{výr}$ [mm <sup>2</sup> ]
3	5	10	28	201

- Určení hmotnosti a rozměrů polotovaru**

Zjištění velikosti polotovaru pro zápusťkové kování vychází ze zákona zachování objemu. Pokud by byl objem polotovaru příliš malý nemusel by materiál vyplnit celou dutinu zápusťky. V opačném případě by mohlo dojít k poškození zápusťek. Objem výkovku byl určen pomocí již zmiňovaného programu Autodesk Inventor. Po nastavení materiálu ve fyzikálních vlastnostech byl objem určen na 2178963,2 mm<sup>3</sup> s relativní chybou 0,000089%. K tomuto objemu však nesmíme zapomenout přičíst 10% objemu pro



Obr. 42 Jednotlivé průřezy výkovku  
výronkovou drážku a 3% objemu o které přijdeme při ohřevu materiálu v komorové peci.

$$V_{výr} = 0,1 * V_{výk} = 0,1 * 2\,178\,963,2 = 217\,896,3 \text{ mm}^3 \quad (5.1)$$

$$V_{opal} = 0,03 * V_{výk} = 0,03 * 2\,178\,963,2 = 65\,368,9 \text{ mm}^3 \quad (5.2)$$

$$V_c = V_{výk} + V_{výr} + V_{opal} = 2\,178\,963,2 + 217\,896,3 + 65\,368,9 = 2\,462\,228,4 \text{ mm}^3, \quad (5.3)$$

kde:  $V_c$  - celkový objem výkovku [mm<sup>3</sup>]  
 $V_{výr}$  - objem výronkové drážky [mm<sup>3</sup>]  
 $V_{opal}$  - objem přídatku na opal [mm<sup>3</sup>]

**Průměr a délka polotovaru** - určíme z průřezového obrazce, v kterém najdeme místo s největším průřezem a přičteme k němu opět 13% průřezu na výronkovou drážku a opal. Z výsledného průřezu zjistíme početní cestou průměr polotovaru. Z tohoto průměru a celkového objemu výkovku vypočteme potřebnou délku polotovaru na kterou budeme stříhat kruhovou tyč.

Z průřezového obrazce (obr.43) je vidět, že místo s největší plochou průřezu  $12\,427\text{ mm}^2$  je v řezu E-E (obr.41), který je ve vzdálenosti 140 mm od zvoleného počátku. Těto ploše se vypočte průměr dle následujícího vztahu:

$$S_{\max} = 1,13 * S = 14\,042,5\text{ mm}^2 \quad (5.4)$$

$$D = \sqrt{\frac{4 * S_{\max} * 0,13}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 * 14\,042,5}{\pi}} = 133,7\text{ mm} , \quad (5.5)$$

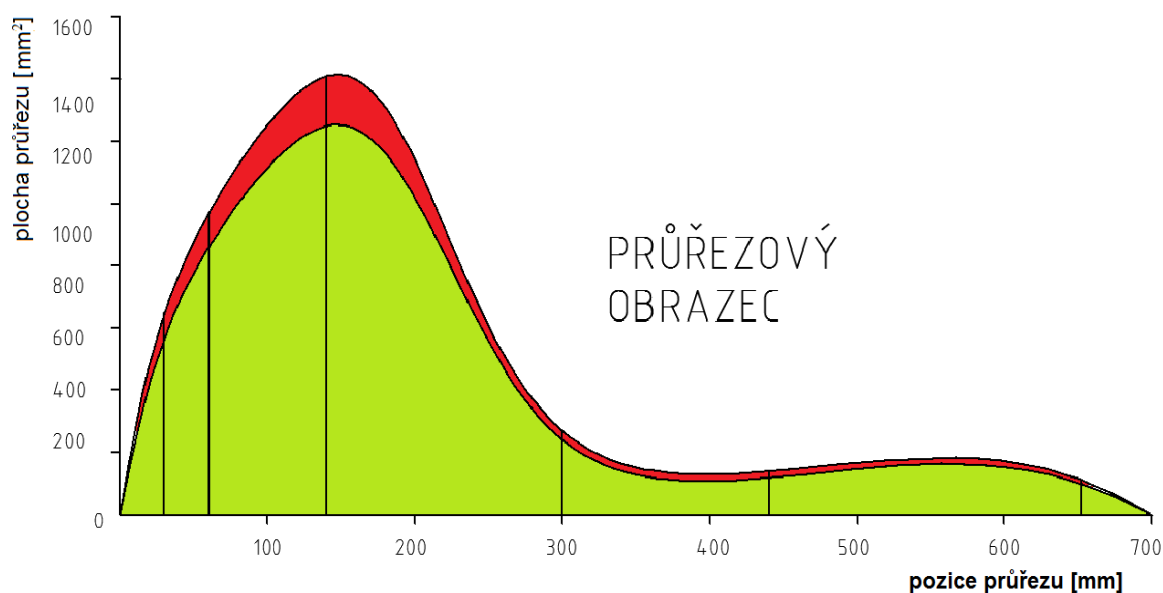
kde:  $S_{\max}$  - největší průřez výkovku [ $\text{mm}^2$ ]  
 $D$  - průměr polotovaru [mm]

Výsledný průměr byl zaokrouhlen k nejbližší vyšší hodnotě dle nabídky kruhových tyčí od firmy FERONA na 135 mm.

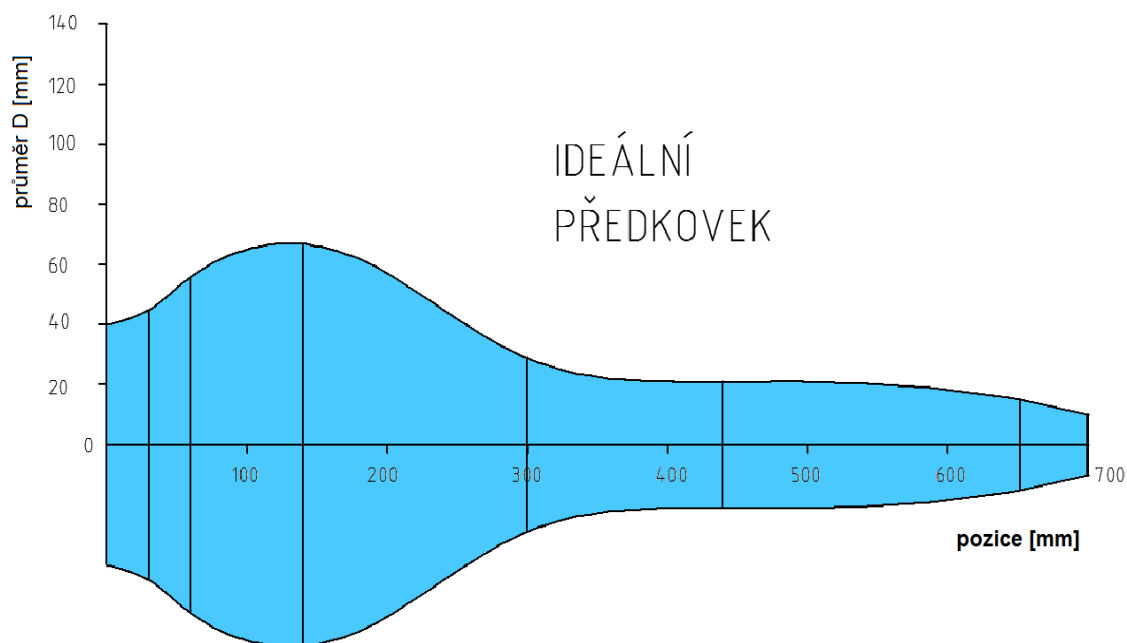
Podle toho průměru a celkového objemu výkovku určíme délku polotovaru:

$$l = \frac{4 * V_{\text{výk}}}{\pi * D^2} = \frac{4 * 2\,462\,228,4}{\pi * 135^2} = 172\text{ mm} , \quad (5.6)$$

kde:  $l$  - délka výchozího polotovaru [mm]



Obr. 43 Průřezový obrazec výkovku



Obr. 44 Tvar ideálního předkovku

## 5.2 Příprava polotovaru [5] [15] [18] [27] [29]

### • Dělení polotovaru

Kruhová tyč o průměru 135 mm je dodávána v délce 6 metrů a proto je nutné ji rozdělit na kratší špalíky s délkou 172 mm. Nejvhodnější metoda pro dělení polotovaru je stříhání z důvodu nulového odpadu. Avšak abychom mohli tuto metodu použít musí být splněno kritérium nejkratší délky stříhané tyče vůči jejímu průměru.

$$L_{min} \geq 0,6 * D_{pol} \quad (5.7)$$

$$172 \geq 0,6 * 135$$

$$176 \geq 81 ,$$

kde:  $D_{pol}$  - průměr polotovaru [mm]  
 $L_{min}$  - minimální délka stříhané tyče

Dále je potřeba určit potřebnou střížnou sílu:

$$F_s = 1,3 * 0,8 * R_m * S_{pol} \quad (5.8)$$

$$= 1,3 * 0,8 * 400 * 14\,313,8 = 5\,954\,574,7 \, N = 5,95 \, MN ,$$

kde:  $R_m$  - mez pevnosti v tahu [MPa]

Podle tabulky (tab.2) byly zvoleny strojní nůžky **ScKU 800** (obr.45), které mohou stříhat polotovary až do tloušťky 170 mm. Číslo 800 značí sílu v tunách. Zbylé parametry jsou uvedeny v tabulce (tab.6).



Obr. 45 Nůžky ScKU 800 [27]

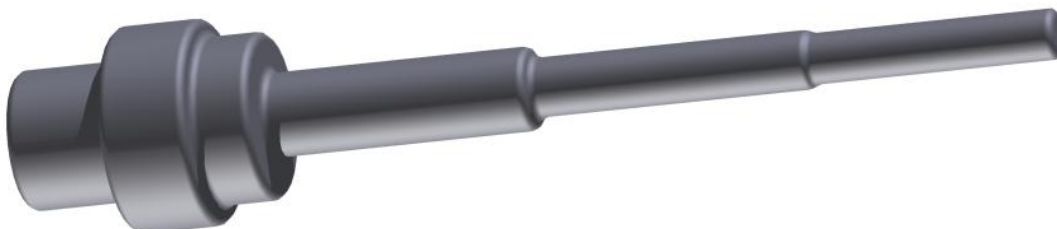
Tab. 6 Základní technické parametry stroje

max. stříhaný Ø	170 mm
síla	800 t
počet zdvihů	20 tahů/min
zdvih (nastavitelné)	75 - 1 000 mm
výška stroje na podlahou	4 400 mm
délka	2 200 mm
šířka	3 000 mm
výška	4 800 mm
hmotnost	40 000 kg

- **Výchozí polotovary pro zápusťkové kování**

Jako polotovary pro zápusťkové kování bude použit předkovek (obr.46), který bude zhotoven technologií volného kování - prodlužování. Předkovát se bude na bucharu **KHZ 4 A** (obr.47) od firmy ŠMERAL a.s. z kruhové tyče o průměru  $d=135$  mm a délce  $l=172$  mm.

Tvar a rozměry předkovku jsou úzce spjaty s tvarem ideálního předkovku, jsou upraveny tak, aby nebylo zhotovení předkovku příliš technologicky náročné.



Obr. 46 Předkovek pro zápusťkové kování



Obr. 47 Buchar KHZ 4 A []

Tab. 7 Základní parametry bucharu pro předkování

<b>jmenovitá energie</b>	50 kJ
<b>počet zdvihů beranu</b>	60/ min
<b>maximální zdvih beranu</b>	500 mm
<b>pracovní tlak</b>	16 MPa
<b>jmenovitý plnicí tlak vzduchu</b>	0,5 - 0,6 MPa

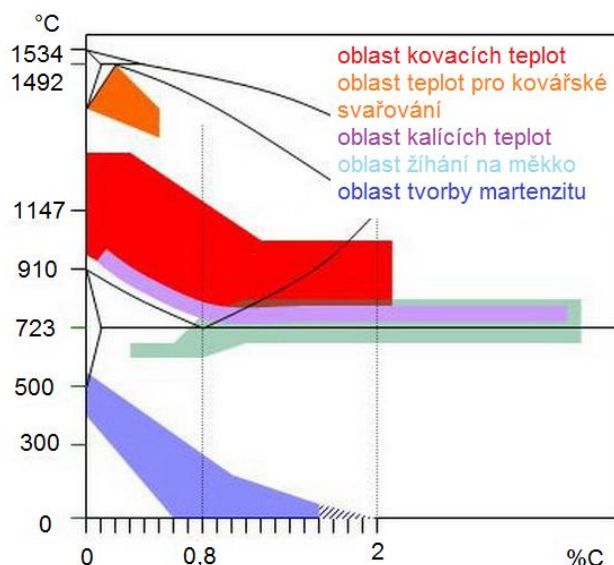
- Ohřev polotovaru

**Kovací teplotu pro materiál 11 375** určíme z rovnovážného digramu Fe - Fe<sub>3</sub>C (obr.48) a to podle obsahu uhlíku 0,2%, který má rozhodující vliv na kovací teplotu, která je v tomto případě 1 150 až 850 °C.

Pro porovnání kovacích teplot vybraných ocelí je uvedeno několik příkladů v následující tabulce (tab.8)

Pro ohřev byla zvolena plynová válečková pec **RKG 08.9.03-12** od firmy BVD s výkonem 600 kW, výstupní teplotou 1250°C a maximálním ohřátým množstvím 1500 kg/h. U této pece je možné podle technologického a kapacitního zadání nastavit délku pece. Doba ohřevu materiálu s teploty okolí na teplotu 1 150 °C se vypočte dle vztahu (3.4).

$$t = \alpha * k * D * \sqrt{D} = 1,4 * 10 * 0,135 * \sqrt{0,135} = 0,69 \text{ hod}$$



Obr. 48 Rovnovážný digram Fe - Fe<sub>3</sub>C [19]

### 5.3 Určení velikosti bucharu [36]

V prospektech firmy BÊCHÊ jsou uvedeny nomogramy (tab.9) pro určení deformační práce pro kování výkovků z uhlíkových nebo nízkolegovaných ocelí. Na základě plochy průřezu výkovku ( $S_C$ ) včetně můstku výronkové drážky určíme energii, kterou je buchar schopen vyvinout v jediném nejsilnějším úderu.

Tab. 8 Nomogram pro určení jmenovité energie bucharu [4]

Tvarová složitost	$S_C$ [mm <sup>2</sup> ]	A [kJ]
<b>Tvarová skupina 1</b> (výkovky jednoduché, tlustostěnné se zaoblenými hranami)	$S_C \leq 560$	$A = 0,01078 * S_C^{1,330}$
	$560 < S_C \leq 1420$	$A = 0,01664 * S_C^{1,262}$
	$S_C > 1420$	$A = 0,10346 * S_C^{1,310}$
<b>Tvarová skupina 2</b> (výkovky středně složité)	$S_C \leq 400$	$A = 0,02256 * S_C^{1,313}$
	$S_C > 400$	$A = 0,12974 * S_C^{1,021}$
<b>Tvarová skupina 3</b> (výkovky složité, tenkostěnné s úzkými žebry a ostrými hranami)	$S_C \leq 280$	$A = 0,03145 * S_C^{1,337}$
	$S_C > 280$	$A = 0,22790 * S_C^{0,986}$

Výkovek byl zařazen do tvarové skupiny 2, tedy výkovky středně složité, a jeho plocha průřezu určena pomocí programu Autodesk Inventor na 1160,6 cm<sup>2</sup>. Z těchto údajů tedy vyplynul tento vztah:

$$A = 0,12974 * S_c^{1,021} = 0,12974 * 1165,6^{1,021} = 175,4 \text{ kJ} \quad (5.9)$$

Na základě vypočtené jmenovité energie 175,4 kJ byl zvolen konkrétní typ bucharu a to s označením **L 9 2040 mkg** od již zmiňované firmy Bêché s jmenovitou energií 210 kJ.

V nomogramech je také uvedena tabulka (tab.10) podle, které lze pro buchar o dané jmenovité energii určit teoretickou produktivitu P.

Tab. 9 Nomogram pro teoretickou produktivitu [4]

Jmenovitá energie A [kJ]	Teoretická produktivita [kg/hod]
$A \leq 31,5$	$P = 22,82 + A^{1,02}$
$31,5 < A \leq 51$	$P = 151,15 + A^{0,472}$
$51 < A \leq 110$	$P = 37,7 + A^{0,825}$
$A > 110$	$P = 147,48 + A^{0,535}$

Z vypočtené jmenovité energie 175,4 kJ vyplývá, že teoretická produktivita se vypočte dle vztahu v posledním řádku tabulky.

$$A = 175,4 \text{ kJ} \gg P = 147,48 * A^{0,535} = 147,48 * 175,4^{0,535} = 2\,340,4 \text{ kg/h} \quad (5.10)$$

Skutečná produktivita je však o 10 až 40% nižší z důsledku výměny zápustek, prostojů a jiných vnějších vlivů. Zhruba tedy 1700 kg/hod.

#### 5.4 Materiál a přehřev zápustek [38] [29]

Pro výrobu zápustek byl zvolen materiál ČSN 19 663, dle EN ISO 55NiCrMoV7. Ocel je vhodná pro malé, střední zápustky s vysokou trvanlivostí pro kování oceli. Materiál je dobře kalitelný jak v oleji tak na vzduchu s velkou houževnatostí.

Jelikož jsou zápustky vyrobeny z vysoce legovaných ocelí, které mají po tepelném zpracování výrazně nižší houževnatost. Proto, abychom dosáhly vyšších hodnot je dobré zápustky před kovááním rovnoměrně prohřát (obr.45) na teplotu 200 až 300 °C. Při této teplotě docílíme u nástrojových ocelí nejvyšší houževnatosti. Nedodržení přehřevu, zvláště u tvarově složitých dutin, vede k praskání zápustek.

- **Výpočet síly na ostřížení**

K ostřížení výronku a blány dojde na jednou v jedné operaci ostřížením za tepla a to při dokovací teplotě 850 až 800 °C. Při této teplotě je mez pevnosti materiálu zhruba na 20% pevnosti za normálních teplot (20°C). Potřebná síla se vypočte dle následujícího vztahu, kde výška můstku výronku je dvounásobná z důvodu bezpečnosti.

$$F_s = 1,7 * 0,8 * R_m * O_{výr} * 2 * h = \quad (5.11)$$

$$= 1,7 * 0,8 * 80 * 1856,4 * 2 * 3 = 121\,857,9\,N = 122\,kN ,$$

kde:  $O_{výr}$  - obvod výronku a blány výkovku [mm]  
 $h$  - výška můstku výronku [mm]

Podle potřebné síly 122 kN byl zvolen ostříhovací lis **LKOA 200** od firmy ŠMERAL a.s. (obr.49) se jmenovitou silou 2000 kN. Jedná se o nejmenší lis, jaký tato firma vyrábí.

Tab. 10 Technické parametry lisu [27]

<b>Jmenovitá síla</b>	2000 kN
<b>Zdvih</b>	180 mm
<b>Sevření</b>	600 mm
<b>Přestavení beranu</b>	100 mm
<b>Počet zdvihů</b>	1/ min
<b>Rozměr stolu</b>	1415x1000 mm
<b>Rozměr beranu</b>	1300x800 mm



Obr. 49 Ostříhovací lis LKOA 200 [27]

#### • Tepelné zpracování součástí

Pro dosažení snadné obrobitelnosti se bude výkovek žíhat na měkko v indukční peci na teplotu  $650 \div 720\,^{\circ}\text{C}$ . Po obrobení funkčních součástí se může závěsný šroub normalizačně žíhat na jemnozrnnou strukturu pro zlepšení mechanických vlastností. Pro tepelné zpracování bylo zvoleno Indukční žíhací zařízení Weldoitherm VAI 45.

Tab. 11 Zkrácený technologický postup

	<b>Operace</b>	<b>Popis operace</b>	<b>Stroj</b>
<b>1</b>	Stříhání	Stříhat tyč Ø135 mm na délku 172 mm	ScKU 800
<b>2</b>	Kontrola délky	Kontrolovat délku 172 mm, četnost 10 %	Posuvné měřidlo
<b>3</b>	Ohřev	Ohřát polotovar na $1150 \div 1200\,^{\circ}\text{C}$	RKG 08.9.03-12
<b>4</b>	Volné kování	Předkovat polotovar dle výkresu předkovku	KHZ 4 A
<b>5</b>	Ohřev	Znovu ohřát na $1150 \div 1200\,^{\circ}\text{C}$	RKG 08.9.03-12
<b>6</b>	Zápustkové kování	Kovat v zápustkách	L 9 2040 mkg
<b>7</b>	Ostřížení	Ostříhnout výkovek za tepla	LKOA 200
<b>8</b>	Tepelné zpracování	Žíhání na měkko $650 \div 720\,^{\circ}\text{C}$	Weldoitherm VAI 45
<b>9</b>	Kontrola	Kontrola dle výkresu výkovku, četnost 10%	-



## 6 TECHNICKO - EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

V této kapitole je vypočtena spotřeba materiálu, následně jeho cena, který je potřebný na vykování závěsného šroubu v sérii 5 000 ks/rok. A následně je porovnána s náklady na materiál, které by byli v případě výroby součásti obráběním. Dané zhodnocení je nutné brát jen jako orientační. Jelikož opravdové náklady na výrobu ovlivňuje spousta dalších aspektů než jenom spotřeba materiálu a jeho pořizovací cena, jsou to i např. pořizovací cena strojů, nástrojů, přímé náklady na mzdu a na energii.

- **Výroba součástí kováním**

### Spotřeba materiálu

Počet ústřížků z jedné tyče, která je dodávána v délkách 6 m se vypočte z následujícího vztahu:

$$n_{\text{ústřížku}} = \frac{L_{\text{tyče}}}{L_{\text{ústřížku}}} = \frac{6000}{172} = 34,88 \text{ ks}$$

Počet ústřížků je nutné zaokrouhlit na nejbližší nižší číslo, tedy na 34 kusů ústřížků.

Dále vypočteme kolik šestimetrových tyčí je potřeba objednat, aby bylo možné vyrobit 5 000 kusů zadané součásti.

$$n_{\text{tyčí}} = \frac{Q_v}{n_{\text{ústřížků}}} = \frac{5\,000}{34} = 147,06 \text{ ks}$$

Výsledek je zaokrouhlen na nejbližší vyšší hodnotu a to 148 kusů tyčí. Tyč z oceli 11 375.1, Ø 135 - 6 000 mm je dodávána společností Feron a.s. za cenu 1215 Kč/m. Z těchto údajů můžeme zjistit přímé náklady na materiál.

$$N_{\text{mat}} = C_{\text{mat}} * L_{\text{tyče}} * n_{\text{tyčí}} = 1215 * 6 * 148 = 1\,078\,920 \text{ Kč}$$

- **Procento využití jedné tyče:**

$$m_v = \frac{n_{\text{ústřížku}} * m}{m_t} * 100 = \frac{34 * 9,4}{674,18} * 100 = 47,4 \%$$

Jelikož po vykování bude z výkovku odstraněna výronková drážka a blána a na výkovku budou obrobena funkční plochy, bylo procento využití vypočteno z čisté hmotnosti hotové součásti připravené k montáži.

Využití materiálu je 47,4 % z čeho plyne, že 52,6 % hmotnosti jedné tyče bude v rámci ekonomičnosti prodáno jako šrot. Podle aktuálních výkupních cen by jsme za 1 kg železného šrotu lehkého dostali 3,70 Kč. Hmotnost odpadu ze 148 tyčí se vypočte dle následujícího vztahu:

$$m_{\text{odpadu}} = 0,88 * m_t * n_{\text{tyčí}} = 0,526 * 674,18 * 148 = 52\,483,6 \text{ Kg}$$



Pokud tedy šrot ve formě lehkého šrotu bude prodán, vrátí se tak společnosti 194 189 Kč. Celkové náklady na materiál budou tedy sníženy s původních 1 078 920 Kč na **884 730 Kč**.

- **Výroba součástí obráběním**

Pokud by se závěsný šroub vyráběl obráběním, byl by soustružen a poté frézován z kruhové tyče Ø 135 - 710 mm. Stejně jako pro kování byla i pro obrábění vypočtena spotřeba materiálu a náklady na výrobu celé série součástí.

### **Spotřeba a cena materiálu**

Počet ústřížků z jedné tyče, která je dodávaná v délkách 6 m se vypočte z následujícího vztahu:

$$n_{\text{ústřížku}} = \frac{L_{\text{tyče}}}{L_{\text{ústřížku}}} = \frac{6000}{710} = 8,45 \text{ ks}$$

Opět zaokrouhlíme na nejbližší nižší číslo. Z jedné tyče bude nastříháno 8 kusů tyče.

Znovu vypočteme kolik šestimetrových tyčí je potřeba objednat, aby bylo možné vyrobit 5 000 kusů zadané součásti.

$$n_{\text{tyčí}} = \frac{Q_v}{n_{\text{ústřížků}}} = \frac{5\,000}{8} = 625 \text{ ks}$$

Na vyrobení série bude potřeba objednat 625 kusů tyčí. Pro tento počet tyčí, byla vypočtena celková cena.

$$N_{\text{mat}} = C_{\text{mat}} * L_{\text{tyče}} * n_{\text{tyčí}} = 1215 * 6 * 625 = 4\,556\,250 \text{ Kč}$$

### **Procento využití jedné tyče:**

$$k_v = \frac{n_{\text{ústřížku}} * m}{m_t} * 100 = \frac{8 * 9,4}{674,18} * 100 = \mathbf{11,2 \%}$$

Využití materiálu je 11,2 % z čeho plyne, že 88,8 % hmotnosti jedné tyče bude v rámci ekonomičnosti prodáno jako šrot do sběrných surovin. Podle aktuálních výkupních cen by firma získala za 1 kg ocelových třísek (obr.50) 3 Kč. Hmotnost odpadu ze 625 tyčí se vypočte dle následujícího vztahu:



Obr. 50 Ocelová tříska

$$m_{\text{odpadu}} = 0,88 * m_t * n_{\text{tyčí}} = 0,88 * 674,18 * 625 = 370\,799 \text{ kg}$$

Pokud tedy šrot ve formě třísek bude prodán, vrátí se tak společnosti 1 112 397 Kč. Celkové náklady na materiál budou tedy sníženy s původních 4 556 250 Kč na **3 443 853 Kč**.

Z výpočtů vyplívá, že pokud bude pro výrobu závěsného šroubu zvoleno kování, bude jenom na materiálu ušetřeno **2 559 123 Kč**, což rozhodně není zanedbatelná částka.

## 7 ZÁVĚR

Cílem bakalářské práce bylo navrhnout technologický postup výroby závěsného šroubu. Na základě složitosti tvaru součásti, výrobní série 5000 ks/rok a požadovaných mechanických vlastnostech bylo z možných technologií výroby vybráno jako nevhodnější objemové tváření za tepla, přesněji kování. Teoretická část práce se tedy zabývá různými metodami kování a vhodností použití strojů pro dané metody.

Součást se bude vyrábět z konstrukční oceli ČSN 11 375.1, která je dodávána v podobě kruhových tyčí Ø 135 - 6000 mm z hutního velkoobchodu. Délka polotovaru byla stanovena na 172 mm. Na tuto požadovanou délku budou tyče stříhány pomocí průmyslových nůžek ScKU 800. Materiál bude ohříván na dvakrát v komorové peci RKG 08.9.03-12 s výkonem 600 kW. Poprvé pro volné kování předkovku na bucharu KHZ 4 A a po druhé, aby mohl výkovek dosáhnout konečného tvaru v zápustkách, které budou upnuty do bucharu s označením L 9 2040 mkg s jmenovitou energií 210 kJ. Po vykování, kdy má materiál teplotu asi 750 °C, bude výkovek zbaven výronkové drážky a blány na ostříhovacím lisu LKOA 200. Poté bude provedeno žíhání na měkko pro zlepšení obrobitelnosti v indukční peci Weldootherm VAI 45.

Z technicko - ekonomického zhodnocení vyplynulo, že obrábění je pro výrobu závěsného absolutně nevhodné s procentuelním využitím materiálu pouhých 11,2%. Dále bylo vypočteno, že pro výrobu požadovaného množství je zapotřebí objednat 145 kusů kruhových tyčí, které při ceně 1215 Kč/m budou stát celkově 1 078 920 Kč. Pokud však bude odpadový materiál vrácen do sběrných surovin podaří se celkové náklady materiálu snížit na 884 730 Kč.

Práce je doplněna o výkresovou dokumentaci, která je umístěna v přílohách.

## SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ A LITERATURY

- [1] ASM-Metals Handbook: Formig and Forging. Vol.14. USA ASM International, 2004. S.978. ISBN0-87170-020-4
- [2] Bc. BRADÁČ, TOMÁŠ. *ZÁPUSTKOVÉ KOVÁNÍ OZUBENÉHO KOLA* [online]. VUT FSI Brno, 2010 [cit. 2014-04-27]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studium/zaverecne-prace> Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí práce Ing. Marek ŠTRONER, Ph.D.
- [3] BRJUCHANOV, A.N. a A.V. REBELSKIJ. *ZÁPUSTKOVÉ KOVÁNÍ: KOVÁNÍ NA KLIKOVÝCH LISECH A VODOROVNÝCH KOVACÍCH STROJÍCH*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1956. ISBN 80-200-0980-9.
- [4] ČERMÁK Doc., Jaromír. Podklady pro předmět projekt 2: Kapacitní výpočty. In: *České vysoké učení technické: Fakulta strojní* [online]. Praha, 2003 [cit. 2014-05-23]. Dostupné z: <http://u12133.fsid.cvut.cz/podklady/PRO2/ko.pdf>
- [5] ČSN 21 1413. Upínání zápustek pro padací a parovzdušnébuchary. Praha: Úřad pro normalizaci a měření, 17.2. 1970. 10 s.
- [6] ČSN 22 8308. *ZÁPUSTKY PRO BUCHARY: Směrnice pro konstrukci*. Praha: vydavatelství ÚNM, 1980.
- [7] ČSN 42 9001. *VÝKOVKY OCELOVÉ VOLNÉ V OBVYKLÉM PROVEDENÍ: Všeobecná část*. 8000 výtisků. ÚNM Praha: Hostivař, 1970.
- [8] ČSN 42 9030. *VÝKOVKY OCELOVÉ ZÁPUSTKOVÉ: Přídavky na obrábění, mezní úchytky rozměrů a tvarů*. Praha: ÚNH Praha, 1987.
- [9] Doc. KARELČERMÁK, ZÁKLADY KONSTRUKCE ZÁPUSTEK: Podklady pro předmět projekt 2 - část kování. [online]. 2003 - 2004, s. 13 [cit. 2014-04-27]. Dostupné:[http://u12133.fsid.cvut.cz/podklady/PRO2/kov\\_konstrukce\\_zapustek.pdf](http://u12133.fsid.cvut.cz/podklady/PRO2/kov_konstrukce_zapustek.pdf)
- [10] FOREJT, Milan, Miroslav PÍŠKA. Teorie obrábění, tváření a nástroje. 1. vyd. Brno: CERM, 2006. 225s. ISBN 80-214-2374-9
- [11] FOUNDRY REFRACTORY PRODUCTS. *URC: United refractories* [online]. USA, GoldenRd., 2001 [cit. 2014-05-06]. Dostupné z: [www.unitedrefractoriesco.com/industries-served/foundry#.U2kPlfl\\_vRU](http://www.unitedrefractoriesco.com/industries-served/foundry#.U2kPlfl_vRU)
- [12] FREMUNT, P., J. KREJCÍK a T. PODRÁBSKÝ. Nástrojové oceli (odborná kniha). 1. vyd. Brno: Dum 1techniky. 1994. 230 s.

- [13] GRÁF, RADOMÍR. *Zápustkové kování pastorku* [online]. Brno, 2011 [cit. 2014-05-04]. Dostupné z: [www.vutbr.cz/bitstream/handle/11012/3078/2011\\_BP\\_Graf\\_Radomir\\_107756.pdf](http://www.vutbr.cz/bitstream/handle/11012/3078/2011_BP_Graf_Radomir_107756.pdf), VUT Brno. Vedoucí práce Ing. MAREK ŠTRONER, Ph.D.
- [14] *GRIVEL: Hot drop forging* [online]. Aosta - Italy, 2007 [cit. 2014-05-06]. Dostupné z: [http://www.grivel.com/company/hot\\_drop\\_forging?](http://www.grivel.com/company/hot_drop_forging?)
- [15] HRÁČEK, Jaroslav. Kovárna Hráček: Výkovky zápustkové. *MECALUX: logismarket* [online]. [cit. 2014-05-06]. Dostupné z: [www.logismarket.cz/kovarna-hracek/2610827874-947644718-c.html](http://www.logismarket.cz/kovarna-hracek/2610827874-947644718-c.html)
- [16] ING. JOZEF BAČA. *TECHNOLÓGIA TVÁRENIA*. Bratislava: Nakladatelství STU, 2009. ISBN 978-80-227-3242-0.
- [17] Ing. ŠPINLEROVÁ, Marie. *TECHNOLOGIE: objemové tváření* [online]. Opava, 2007 [cit. 2014-05-04]. Střední škola technická Opava.
- [18] KOPECKÝ, Martin. *Výroba opěrného držáku objemovým tvářením*. Brno, 2008. Dostupné z: [https://www.vutbr.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=](https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=) Diplomová práce. VUT Brno. Vedoucí práce Ing. Miloslav Kopřiva.
- [19] KRÁL, Roman. Amatérský kovář. *Tepelné zpracování kovů: Kalení I* [online]. 2003 [cit. 2014-05-15]. Dostupné z: [http://kovarna.webzdarma.cz/stranky/zakladni\\_postupy/kaleni1.htm](http://kovarna.webzdarma.cz/stranky/zakladni_postupy/kaleni1.htm)
- [20] K-REPORT: český dopravní server. BONEV, Jan. *Archiv diskuze Parní lokomotivy* [online]. 2012 [cit. 2014-05-05]. Dostupné z: <http://www.k-report.net/discus/archiv2012/28/623-archiv-36.html>
- [21] LIDMILA, Zdenek. *Teorie a technologie tváření II*. 1.vyd. UO Brno. 2008. 106 s. ISBN 978-80-7231-580-2
- [22] MRÁZEK, Stanislav. *PRATO, spol.: Stroje po GO a modernizaci* [online]. 10.5.2014 [cit. 2014-05-14]. Dostupné z: <http://www.prato.cz/cgi-bin/602cgi8/isprato/web/nabs.htw?lang=0&mn=3&pmn=0&str=8>
- [23] NOVOTNÝ, Karel. *Tvářecí nástroje*. 1. vyd. Brno: Nakladatelství VUT v Brně, 1992. 186 s. ISBN 80-214-04016.
- [24] OBJEMOVÉ TVÁŘENÍ. In: *Co Je Co: Vaše encyklopedie* [online]. OPTIMUS s.r.o., 1999 - 2004 [cit. 2014-04-01]. Dostupné z: <http://www.cojeco.cz/index>.

- [25] Ocelové zápusťkové výkovky. *OStroj a.s.: výroba důlních zařízení a dalších strojních produktů* [online]. Opava, 2012 [cit. 2014-05-06].
- [26] Odlévání. In: *Wikipedie: Otevřená encyklopedie* [online]. 2013, 31. 7. 2013 [cit. 2014-04-27]. Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Odl%C3%A9v%C3%A1n%C3%AD>
- [27] Ostřihovací lis: Řada lisů LKOA / LDO. *Šmeral Brno a.s.* [online]. Brno, 2003 [cit. 2014-05-26]. Dostupné z: <http://www.smeral.cz/CZTvarOst.html>
- [28] Pece válečkové. *BVD pece* [online]. Sadov, 2007 [cit. 2014-05-20]. Dostupné z: [http://bvd.rtrk.cz/?scid=62012&kw=9295832&pub\\_cr\\_id=27155359601](http://bvd.rtrk.cz/?scid=62012&kw=9295832&pub_cr_id=27155359601)
- [29] Přehled vlastností ocelí. *BOLZANO: Technická příručka* [online]. 1998 - 2004 [cit. 2014-05-08] Dostupné z: <http://prirucka.bolzano.cz/cz/technicapodpora/techprirI>
- [30] SPRINGERSCHMIED: DETLEF SPRINGER. *TechnischesDenkma - Schlosserei* [online]. 2013 [cit. 2014-05-06]. Dostupné z: <http://www.springerschmied.de/page12/page12.html>
- [31] STROJÍRENSTVÍ: Zápusťkové buchary. In: *Studentske.cz* [online]. 2006 [cit. 2014-04-29]. Dostupné z: <http://strojirenstvi.studentske.cz/2008/10/dvojinn-zpusťkov-buchary.html>
- [32] SYCHRA, Jan. Střídavé lokomotivy. *TrainWeb* [online]. 2004 [cit. 2014-05-20]. Dostupné z: <http://trainweb.cz/rada/stridave-lokomotivy>
- [33] TECHNOLOGICKÝ POSTUP VOLNĚ KOVANÉHO VÝKOVKU. In: BENEŠ, JAN. *Západočeská univerzita v Plzeňi* [online]. návody do cvičení. PLZEŇ, 2013 [cit. 2014-04-01]. Dostupné z: <http://home.zcu.cz/~sbenesov/Vykovek.pdf>
- [34] TECHNOLOGIE OBJEMOVÉHO TVÁŘENÍ – KOVÁNÍ. LENFELD, Petr Lenfeld. *Technologie II* [online]. [cit. 2014-03-19]. Dostupné z: [http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta\\_tkp/sekce/03.htm](http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/03.htm)
- [35] TECHNOLOGIE TVÁŘENÍ KOVŮ. *Příprava polotovarů* [online]. Technická univerzita Liberec: Katedra strojírenské technologie, 2003 [cit. 2014-04-28]. Dostupné z: [http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta\\_tkp/sekce/01.htm](http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/01.htm)
- [36] TECHNOLOGIE: Obrábění. *EStránky.cz* [online]. Pardubice, 2013 [cit. 2014-05-06]. Dostupné z: <http://www.sst1.estranky.cz/clanky/soustruzeni.html>

- [37] TUROŇ, Radim. Pásová pila na kov. *Pilana metal s.r.o* [online]. Hulín, 2011 [cit.2014-05-23]. Dostupné z: <http://www.pasova-pila-na-kov.cz/1/strojni-pily/25/Pasova-pila-na-kov-PMS-460600-HAD>
- [38] *TVÁŘENÍ, TVÁŘENÍ ZA TEPLA - VOLNÉ KOVÁNÍ*. VOŠT Brno, 25 s. Dostupné z: [http://web.spssbrno.cz/web/DUMy/STT,%20KOM/VY\\_32\\_INOVACE\\_20-3.pdf](http://web.spssbrno.cz/web/DUMy/STT,%20KOM/VY_32_INOVACE_20-3.pdf)
- [39] VÁVRA, Jan. *Výroba výkovku montážní klíč*. Brno, 2011. Bakalářská práce. VUT Brno. Vedoucí práce Doc. Ing. Karel Novotný, Csc.
- [40] VHM: Specialracingproducts. *Carrillo* [online]. Van HaandelMotorparts BV, 2014 [cit. 2014-05-06]. Dostupné z: [www.vhm.nl/?navi=connectingrodscarrillo](http://www.vhm.nl/?navi=connectingrodscarrillo)
- [41] Vybrané technologie objemového tváření za tepla. *Ústav strojírenské technologie: Tváření* [online]. Brno [cit. 2014-05-16]. Dostupné z: [http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/opory\\_soubory/technologie\\_tvareni/](http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/opory_soubory/technologie_tvareni/)
- [42] Výkovky v automobilovém průmyslu. *ALPER a.s.: Metalurgie a kovárenství* [online]. 2006 [cit. 2014-05-06]. Dostupné z: <http://www.alper.cz/automobilovyprumysl.php>
- [43] ZIZVO. *VÍTKOVICE KOVÁRNY: rajče.net - místo pro vaše fotografie* [online]. [cit. 2014-03-26]. Dostupné z: [http://zizvo.rajce.idnes.cz/1.Maj\\_-\\_Vitkovice/#DSC\\_1301.jpg](http://zizvo.rajce.idnes.cz/1.Maj_-_Vitkovice/#DSC_1301.jpg)
- [44] Železo. *Wikipedie: Otevřená encyklopedie* [online]. 2003, 5.4.2014 [cit. 2014-0506], Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/%C5%BDelezo>



## SEZNAM POUŽITÝCH ZNAČEK A SYMBOLŮ

Zkratka/ symbol	Jednotka	Popis
A	[kJ]	jmenovitá práce
A <sub>i</sub>	[mm]	dílčí plocha pod křivkou napětí
B	[mm]	šířka otřepu
C <sub>o</sub>	[-]	součinitel snížení plasticit
D <sub>dok</sub>	[mm]	průměr dokončovací zápustky
D <sub>D</sub>	[mm]	největší průměr dutiny zápustky
D <sub>k</sub>	[mm]	průměr hlavy vyhazovače
D <sub>před</sub>	[mm]	průměr předkovací zápustky
D <sub>pt</sub>	[mm]	průměr dosedací části předkovacího trnu
D <sub>O</sub>	[mm]	průměr polotovaru
D <sub>V</sub>	[mm]	průměr výkovku bez výronku
F <sub>K</sub>	[N]	kovací síla
F <sub>N</sub>	[N]	síla vznikající od normálových napětí
F <sub>S</sub>	[N]	ostřihovací síla výronku
F <sub>S1</sub>	[N]	ostřihovací síla blány
F <sub>stř</sub>	[N]	střižná síla
F <sub>T</sub>	[N]	síla vznikající od tangenciálních napětí
H <sub>D</sub>	[mm]	hloubka dutiny spodního dílu zápustky
H <sub>D1</sub>	[mm]	největší hloubka dutiny zápustky
H <sub>V</sub>	[mm]	výška zámku zápustky
L	[mm]	obvod ostřížku v dělicí rovině
L <sub>1</sub>	[mm]	obvod ostřížku blány
L <sub>tyče</sub>	[mm]	délka tyče
L <sub>O</sub>	[mm]	délka polotovaru
N <sub>mat</sub>	[Kč/m]	cena materiálu za jeden metr
O <sub>výr</sub>	[mm]	obvod výronku
P	[kW]	výkon komorové pece
R <sub>m</sub>	[MPa]	mez pevnosti materiálu v tahu
S <sub>D</sub>	[mm <sup>2</sup> ]	plocha průřezu výkovku
S <sub>pol</sub>	[mm <sup>2</sup> ]	plocha polotovaru
S <sub>V</sub>	[mm <sup>2</sup> ]	průmět plochy bez výronku
S <sub>výr</sub>	[mm <sup>2</sup> ]	plocha průřezu výkovku včetně výronku
T <sub>tav</sub>	[°C]	teplota tavení materiálu
V <sub>c</sub>	[mm <sup>3</sup> ]	celkový objem výkovku
V <sub>opal</sub>	[mm <sup>3</sup> ]	objem přídavku na opal
V <sub>výr</sub>	[mm <sup>3</sup> ]	objem výronkové drážky
V <sub>VÝK</sub>	[mm <sup>3</sup> ]	objem výkovku bez výronku a opalu
b	[mm]	šířka výronkové drážky
d <sub>k</sub>	[mm]	průměr otvoru pro vyhazovací kolík
d <sub>pt</sub>	[mm]	průměr otvoru pro předkovací trn
d <sub>v</sub>	[mm]	průměr otvoru pro vyrážecí kolík
h	[mm]	výška můstku
m <sub>pol</sub>	[mm]	hmotnost polotovaru pro kování
m <sub>ob</sub>	[kg]	hmotnost polotovaru pro obrábění

Zkratka/ symbol	Jednotka	Popis
$m_{odp1}$	[k]	odpad obrábění z jednoho kusu
$m_v$	[kg]	hmotnost výkovku
$n_{tyčí}$	[ks]	počet tyčí
$n_{útržků}$	[ks]	počet ústřížků
$k_p$	[MPa]	základní přetvárný odpor
$k_m$	[%]	využití materiálu
$o$	[mm]	obvod výronku v dělicí rovině
$r$	[mm]	poloměr přechodu tvaru do dělicí roviny
$s$	[mm]	stříhaná tloušťka výronku
$s_d$	[mm]	vzdálenost dutiny od kraje zápustky
$s_l$	[mm]	stříhaná tloušťka blány
$t_0$	[°C]	teplota 20 °C
$t_1$	[°C]	dokovací teplota
$t_k$	[mm]	tloušťka blány
$t_{pol}$	[mm]	tloušťka polotovaru
$x_i$	[mm]	vzdálenost těžiště plochy od osy výkovku
$\gamma$	[°]	úhel zámku zápustky

## SEZNAM PŘÍLOH

<b>Příloha 1</b>	Výkres součásti
<b>Příloha 2</b>	Výkres předkovku
<b>Příloha 3</b>	Výkres výkovku
<b>Příloha 4</b>	Výkres dolní zápustky
<b>Příloha 5</b>	Výkres horní zápustky